

**VŠB – Technická univerzita Ostrava  
Fakulta elektrotechniky a informatiky  
Katedra telekomunikační techniky**

**Nasazení RFoG do sítí nové generace**

**RFoG deployment into the Next Generation  
Networks**

VŠB - Technická univerzita Ostrava  
Fakulta elektrotechniky a informatiky  
Katedra telekomunikační techniky

## Zadání diplomové práce

Student:

**Bc. Tomáš Kupec**

Studijní program:

N2647 Informační a komunikační technologie

Studijní obor:

2601T013 Telekomunikační technika

Téma:

Nasazení RFoG do sítí nové generace  
RFoG Deployment into the Next Generation Networks

Zásady pro vypracování:

1. Popis způsobů distribuce TV v rámci optických přístupových sítí.
2. Zprovozníte DVB/IP Streamer využívající pozemního televizního vysílání (DVB-T).
3. Realizujete vysílání RFoG prostřednictvím DVB/IP Streameru.
4. Na základě experimentálních měření popište a zhodnoťte možnosti nasazení RFoG do stávajících optických přístupových sítí a sítí nové generace pomocí objektivních metod.

Seznam doporučené odborné literatury:

- [1] HENS, F. J., CABALLERO, J. M. *Triple Play: Building the converged network for IP, VoIP and IPTV*. Wiley, 2008. 416 p. ISBN 978-0470753675.  
[2] MINOLI, D. *IP Multicast with Applications to IPTV and Mobile DVB-H*. Wiley-IEEE Press, 2008. 376 p. ISBN 978-0470258156.

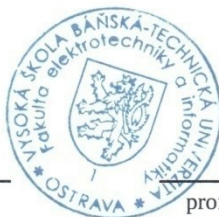
Formální náležitosti a rozsah diplomové práce stanoví pokyny pro vypracování zveřejněné na webových stránkách fakulty.

Vedoucí diplomové práce: **Ing. Petr Šiška, Ph.D.**

Datum zadání: 01.09.2013

Datum odevzdání: 07.05.2014

doc. Ing. Miroslav Vozňák, Ph.D.  
vedoucí katedry



prof. RNDr. Václav Snášel, CSc.  
děkan fakulty

## **Prohlášení studenta**

Prohlašuji, že jsem tuto diplomovou práci vypracoval samostatně. Uvedl jsem všechny literární prameny a publikace, ze kterých jsem čerpal.

V Ostravě dne: 2. května 2014

.....  
podpis studenta

## Poděkování

Rád bych poděkoval Ing. Petru Šiškoví, Ph. D. a Ing. Petru Koudelkovi za odbornou pomoc a konzultaci při vytváření této diplomové práce. Dále bych rád poděkoval, svým kolegům a diplomantům, Jakubu Bočkovi, Miroslavu Králíkovi, Janu Vavrečkovi a Zdeňku Wilčekovi, za spolupráci při laboratorních měřeních.

## **Abstrakt**

Tato Diplomová práce se věnuje problematice a možnostem nasazení technologie RFoG (Radio Frequency over Glass) do optických přístupových sítí nové generace. Pasivní optické sítě PON nabízejí kromě vysokých přenosových rychlostí, také velice širokou škálu využitelnosti pro provoz datových služeb. Tyto služby mohou být kombinovány s různými přenosovými technologiemi. Jedním z požadavků na tyto sítě je také zpětná kompatibilita se staršími analogovými technologiemi. První část této práce je věnována teoretickému rozboru jednotlivých způsobů distribuce TV signálu v rámci PON. Zde se zabývám vysvětlením přenosu IPTV a RF-TV v optických přístupových sítích. Praktická část je věnována zprovoznění DVB-T/IP streameru, který slouží jako generátor TV signálu, následné realizaci vysílání RFoG prostřednictvím PON sítě a provedení experimentálních měření za pomoci objektivních metod. Závěr mé práce se zabývá zhodnocením jednotlivých měření a následným zvážením možností nasazení technologie RFoG v praxi.

## **Klíčová slova**

RFoG, PON, IPTV, RF video overlay, DVB-T, Triple Play, objektivní metody, Optické přístupové sítě.

## **Abstract**

This thesis deals with the problems and possibilities of deployment RFoG (Radio Frequency over Glass) technology into the new generation optical access network. Passive optical networks PON offer, except high transmission speed, also a very wide range of applicability for various traffic data services. These services can be combined with different transmission technologies. By one of needs upon this networks, is also backward compatibility with older analog technologies. The first part of this work is devoted to the theoretical analysis of the various ways of distributing TV signals within the PON. Here is an explanation of the transfer deal IPTV and RF- TV in optical access networks. The practical part is devoted to commissioning DVB-T/IP streamer, which serves as a generator of TV signal, broadcasting RFoG subsequent implementation through the PON network design and experimental measurements, using objective methods. The conclusion of my work deals with the evaluation of individual measurements and then considering the feasibility of deploying technology RFoG in practice.

## **Key words**

RFoG, PON, IPTV, RF Video overlay, DVB-T, Triple Play, objective methods, Optical access networks.

## Seznam použitých zkratek

<b>Zkratka</b>	<b>Anglický význam</b>	<b>Český význam</b>
<b>ADSL</b>	Asymmetric digital subscriber line	Asymetrická DSL přípojka
<b>APON</b>	Asynchronous transfer mode passive optical network	Pasivní optická síť, založená na ATM
<b>ASF</b>	Advanced streaming format	Formát síťového streamu vyvinutý firmou Microsoft
<b>ATM</b>	Asynchronous transfer mode	Standard pro vysokorychlostní síťovou architekturu
<b>AVC</b>	Advanced video coding	Standard komprese digitálního videa
<b>AWG</b>	Arrayed waveguide grating	Optický (de)multiplexer ve WDM systémech
<b>BER</b>	Bit error rate	Bitová chybovost
<b>BPON</b>	Broadband passive optical network	APON standard s podporou WDM
<b>BSS</b>	Base Station Subsystem	Subsystém základnových stanic
<b>CAM</b>	Conditional access modul	Modul pro dekódování digitálního vysílání
<b>CATV</b>	Cable television	Kabelová televize
<b>CMTS</b>	Cable modem termination system	Zařízení pro širokopásmové služby, u kabelových operátorů
<b>CO</b>	Center office	Označení místa s optickými rozvaděči
<b>CPE</b>	Customer provided equipment	Vybavení pro přístup zákazníka ke službám poskytovatele
<b>CPU</b>	Central processing unit	Mikroprocesor
<b>CSV</b>	Comma-separated values	Souborový formát, obsahující hodnoty oddělené čárkami
<b>DHCP</b>	Dynamic Host Configuration Protocol	Protokol zajišťující automatické přidělování IP adres
<b>DMM</b>	Digital multimeter	Elektronický měřicí přístroj
<b>DVB-C</b>	Digital video broadcasting - cable	Standard digitálního televizního vysílání v kabelových sítích
<b>DVB-S</b>	Digital video broadcasting - satellite	Standard digitálního televizního vysílání přes satelit
<b>DVB-T</b>	Digital video broadcasting - terrestrial	Standard digitálního televizního vysílání přes pozemní vysílače
<b>DVD</b>	Digital video disc	Formát digitálního, optického, datového nosiče
<b>DWA</b>	Dynamic wavelength assignment	Aktivní přidělování vlnových délek jednotlivým ONU
<b>DWDM</b>	Dense wavelength division multiplexing	Metoda vlnového multiplexu
<b>EP2P</b>	Ethernet point-to-point	Varianta metalické přístupové sítě

<b>EPG</b>	Electronic program guide	Elektronický programový průvodce
<b>EtherSAM</b>	Ethernet service activation test methodology	Metoda testování služeb v paketově orientovaných sítích
<b>FM</b>	Frequency modulation	Frekvenční modulace
<b>FTP</b>	File Transfer Protocol	Protokol pro přenos souborů
<b>FTTB</b>	Fiber to the building	Zakončení optického vlákna na hranici budovy
<b>FTTC</b>	Fiber to the curb	Zakončení optického vlákna blíže k prostorám uživatele
<b>FTTH</b>	Fiber to the home	Zakončení optického vlákna na obvodu obytného prostoru
<b>FTTN</b>	Fiber to the node	Zakončení optického vlákna v optickém rozvaděči
<b>GEM</b>	Gigabit passive optical network encapsulation method	Metoda enkapsulace dat v GPON sítích
<b>GPON</b>	Gigabit passive optical network	Varianta pasivní optické sítě
<b>GEAPON</b>	Gigabit ethernet passive optical network	Postavená na ATM
<b>GUI</b>	Graphical User Interface	Varianta pasivní optické sítě, postavená na ethernetu
<b>HD</b>	High definition	Grafické uživatelské rozhraní
<b>HFC</b>	Hybrid fiber-coaxial	Standard pro vysoké obrazové rozlišení
<b>HTTP</b>	Hypertext Transfer Protocol	Širokopásmová síť tvořená optickými a koaxiálními kabely
<b>HW</b>	Hardware	Protokol pro výměnu hypertextových dokumentů
<b>IEEE</b>	Institute of electrical and electronics engineers	Fyzické vybavení počítače
<b>IDE</b>	Integrated Development Enviroment	Mezinárodní standardizační organizace
<b>IGMP</b>	Internet group management protocol	Vývojové prostředí
<b>IP</b>	Internet Protocol	Protokol pro podporu IP multicastu
<b>IPTV</b>	Internet protocol television	Komunikační protokol v internetu
<b>ITU-T</b>	International telecommunication union - telecommunication standardization sector	Internetová televize
<b>LAN</b>	Local Area Network	Mezinárodní standardizační sektor pro telekomunikace
<b>MHP</b>	Multimedia home platform	Lokální počítačová síť
<b>MPEG</b>	Moving picture experts group	Evropský standard domácí multimediální platformy
<b>MPLS</b>	Multiprotocol label switching	Standard kódování audiovizuálních informací
<b>OAN</b>	Optical access network	Mechanismus směrování paketů



---

<b>OLT</b>	Optical line termination	Optické linkové zakončení
<b>ONU</b>	Optical network unit	Optická koncová jednotka
<b>OS</b>	Operating system	Operační systém
<b>OSA</b>	Optical spectrum analyzer	Optický spektrální analyzátor
<b>OSS</b>	Operating support subsystem	Operační podpůrný subsystém
<b>OTDR</b>	Optical time domain reflectometr	Metoda pro měření a analýzu optických tras
<b>P2MP</b>	Point-to-multipoint	Spojení typu bod - více bodů
<b>P2P</b>	Point-to-point	Spojení typu bod - bod
<b>PC</b>	Personal computer	Osobní počítač
<b>PHY</b>	Physical Layer	Fyzická vrstva modelu RM-OSI
<b>PIM</b>	Protocol - independent multicast	Rodina multicast směrovacích protokolů
<b>PPV</b>	Pay-per-view	Typ placené televizní služby
<b>POTS</b>	Plain old telephone service	Analogová telefonní služba
<b>QAM</b>	Quadrature Amplitude Modulation	Kvadrurní amplitudová modulace
<b>QOS</b>	Quality of Services	Kvalita služeb
<b>RF</b>	Radio Frequency	Rádiová frekvence
<b>RFC</b>	Request for comments	Označení standardů v oblasti internetu
<b>RFoG</b>	Radio frequency over fibre	Technologie pro nahrazení koaxiální části HFC, PON sítí
<b>RM-OSI</b>	Reference Model Open System Interconnect	Referenční model propojování otevřených systémů
<b>RTCP</b>	Real-time transport control protocol	Řídicí protokol pro distribuci zvuku a videa v reálném čase
<b>RTP</b>	Real-time transport protocol	Protokol pro distribuci zvuku a videa v reálném čase
<b>RTSP</b>	Real-time streaming protocol	Protokol k doručování obsahu formou unicast datového toku
<b>SDH</b>	Synchronous digital hierarchy	Standard multiplexování dat pro přenos optickým vláknem
<b>SSH</b>	Secure shell	Zabezpečený komunikační protokol
<b>TCP</b>	Transmission Control Protokol	Spojově orientovaný protokol
<b>TDMA</b>	Time Division Multiple Access	Časově dělený vícenásobný přístup

---

<b>UDP</b>	User Datagram Protocol	Protokol transportní vrstvy
<b>UDWDM</b>	Ultra dense wavelenght division multiplex	Metoda hustého vlnového multiplexu
<b>UTP</b>	Unshielded twisted pair	Nestíněná kroucená dvojlinka
<b>USB</b>	Universal serial bus	Sběrnice pro připojení periférií k počítači
<b>VCR</b>	Videocassette recorder	Formát pro analogový záznam zvuku a obrazu
<b>VDSL</b>	Very high speed digital subscriber line	Techlologie pro rychlejší DSL datový přenos
<b>VF</b>	Video frequency bandwidth	Frekvenční rozsah TV vysílání
<b>VLAN</b>	Virtual local area network	Logicky nezávislá síť v rámci jednoho či více zařízení
<b>VoD</b>	Video on demand	Typ placené televizní služby
<b>VoIP</b>	Voice over Internet Protocol	Internetová telefonie
<b>WDM</b>	Wavelenght division multiplexing	Vlnově dělený multiplex
<b>WMV</b>	Windows media video	Komprimovaný video formát, společnosti Microsoft

# Obsah

1	Úvod.....	1
2	Způsoby distribuce TV signálu v rámci optických přístupových sítí.....	2
2.1	Optické přístupové sítě.....	2
2.1.1	Typy architektur FTTx.....	2
2.1.2	Typy sítí FTTx.....	2
2.1.3	Pasivní optické sítě (PON).....	3
2.1.4	Aktivní optické přístupové sítě (AON).....	7
2.2	Distribuce TV v optických přístupových sítích prostřednictvím IPTV.....	8
2.2.1	Architektura IPTV.....	9
2.2.2	Služby poskytované v IPTV.....	11
2.2.3	IPTV MODEL.....	14
2.2.4	Metody vysílání užívané v IPTV.....	19
2.2.5	Komprese dat v IPTV.....	21
2.3	Distribuce TV signálu v optických přístupových sítích pomocí RFoG.....	22
2.3.1	Nasazení technologie RFoG.....	23
2.3.2	Výhody RFoG.....	24
2.3.3	Typy sítí RFoG.....	25
2.3.4	Hybrid RF PON + XPON.....	26
2.3.5	Porovnání RFoG a PON.....	27
2.4	Distribuce TV signálu v optických přístupových sítích pomocí RF video overlay...	28
3	Zprovoznění IP TV streamu v lokální síti za použití DVB-T.....	31
3.1	Specifikace použitého IP TV Stream serveru.....	31
3.1.1	Operační systém:.....	31
3.1.2	Možnosti nastavení:.....	31
3.1.3	Maximální počet vysílaných streamů:.....	31
3.1.4	Hardware.....	31

3.2	Konfigurace IP TV Stream serveru pro DVB-T stream .....	32
3.2.1	Schéma zapojení pro distribuci DVB-T signálu LAN sítě .....	32
3.2.2	Konfigurace systému .....	32
4	Výstavba optické přístupové sítě a realizace RFoG vysílání .....	37
4.1	Popis pracoviště pasivní optické přístupové sítě GEPON .....	37
4.1.1	Centrální jednotka OLT .....	37
4.1.2	Koncová jednotka ONU .....	38
4.2	Topologie sestavené GEPON sítě .....	39
4.3	Ověření funkčnosti a integrity sestavené GEPON sítě .....	39
4.3.1	Naměřené útlumové bilance jednotlivých prvků optické trasy .....	40
4.3.2	Měření za pomoci OTDR .....	41
4.3.3	Měření optickým spektrálním analyzátozem .....	43
4.3.4	Měření optického výkonu PON power metrem .....	45
4.3.5	RFC 2544 a EtherSAM analýza .....	46
4.4	Konfigurace GEPON sítě pro realizaci a měření RFoG vysílání .....	49
4.4.1	Konfigurace centrální jednotky OLT .....	49
4.4.2	Konfigurace síťového emulátoru Simena .....	51
5	Měření kvality RFoG vysílání v optické přístupové síti .....	54
5.1	Prostředky pro měření kvality RFoG vysílání .....	54
5.1.1	Triple-Play analyzátor EXFO 200/625 .....	54
5.1.2	Měřicí přístroj Televes H45 .....	56
5.2	Experimentální měření na technologii RFoG .....	57
5.2.1	Měření parametrů vysílaného streamu pomocí přístroje EXFO AXS-200/625 ....	58
5.2.2	Měření parametrů RFoG koncových jednotek na fyzické vrstvě .....	64
6	Závěr .....	67
	Použitá literatura .....	69
	Seznam příloh .....	lxxii

---

# 1 Úvod

V dnešní době, s neustále rostoucími požadavky na přenosovou kapacitu a novými uživatelskými trendy, vznikají v optický komunikacích nové standardy, jejichž úkolem je zprostředkovat koncovým uživatelům co možná nejvyšší kvalitu služby. U služeb TriplePlay vysoce vzrůstají nároky na šířku přenosového pásma a je třeba jeho efektivního využití v souvislosti s užitými optickými technologiemi. PON sítě nám nabízejí velice pohodlné řešení pro nasazení vysokorychlostních služeb na přístupové vrstvě optických sítí. Provozovatelé tuto možnost v praxi čím dál častěji realizují a hledají také nové možnosti využití s ohledem na kompatibilitu se staršími technologiemi přenosu dat. V tomto směru se tedy v budoucnu můžeme dočkat mnoha dalších standardů a technologií, rozšiřujících jejich využitelnost a interoperabilitu se staršími sítěmi.

První část této práce je koncipována jako úvod do teorie optických přístupových sítí, a následně zde jsou rozebrány jednotlivé způsoby distribuce televizního signálu v rámci optických přístupových sítí. Konkrétně se jedná o technologie IPTV, RFoG a RF video overlay, které jsou stěžejní pro přenos TV signálů v takto navržených sítích. Je zde rozebrána architektura, služby, nabízené těmito technologiemi a princip funkce jednotlivých prvků.

Následně je v práci rozebráno zprovoznění IP-TV stream serveru, který je použit ke streamování TV signálu v optické přístupové síti. Jsou zde popsány všechny náležitosti pro uvedení přístroje do chodu, nastavení požadovaných parametrů pro signál, přijímaný z antény, správné nastavení užívaných vstupů DVB-T karty, které je součástí stream serveru a slouží jako centrální procesor pro zpracování TV signálu z anténního přijímače. Vše je koncipováno jako jednoduchá forma návodu pro uživatele, který realizuje stream do sítě.

Praktická část této diplomové práce se věnuje realizaci RFoG vysílání na vybudované optické přístupové síti, což zahrnuje sestavení požadované topologie, nastavení požadovaných charakteristik, spuštění a ověření kvality vysílání v koncovém bodě sítě, tedy na televizoru účastníka. Nezbytným krokem je provedení experimentálních měření nutných, kvalitativních parametrů vysílání a jejich vyhodnocení vzhledem k délce přenosové trasy a zatížitelnosti sítě koncovými jednotkami. Důležité je také proměření parametrů RFoG koncových jednotek na fyzické vrstvě. V závěru této části je provedeno vyhodnocení naměřených údajů a celkové zhodnocení nasazení technologie RFoG do optických přístupových sítí.

---

## 2 Způsoby distribuce TV signálu v rámci optických přístupových sítí

Aktuálním trendem ve světě telekomunikací jsou v dnešní době širokopásmové přenosy, nabízející uživatelům služby jako jsou IPTV, VoIP a vysokorychlostní datové přenosy umožňující využití síťových úložišť jako záložních médií. Společně jsou tyto služby označovány pod pojmem Triple Play. Jak již bylo zmíněno, jsou zde vysoké nároky na přenosové rychlosti, a pokud se tedy rozhodneme provozovat síť s odpovídající kvalitou těchto širokopásmových služeb, nejsou již stávající, metalické sítě vyhovující. Jedním z možných způsobů, jak zajistit koncovému uživateli potřebnou šířku pásma je využití optických technologií a to budováním optických přístupových sítí OAN (Optical Access Network).[1]

### 2.1 Optické přístupové sítě

Obecně jsou tyto sítě provázány pojmem FTTx (Fiber to the ...), jež označuje přístupové řešení na základě optických vláken. Dnes jsou již optické přístupové sítě budovány zcela nezávisle na velkých firmách a korporacích a postupně se rozšiřují až ke koncovým uživatelům. V dnešní době je již i z ekonomického hlediska pro poskytovatele budování takovýchto sítí velice výhodné. [1]

#### 2.1.1 Typy architektur FTTx

Jednotlivá optická řešení:

- mnohabodová architektura P2MP (point to multipoint) s pasivním odbočováním (PON),
- přenos mezi dvěma body P2P (point to point) s individuálními vlákny z centrální jednotky provozovatele,
- větvení s použitím mezilehlých aktivních prvků (AON). [1]

#### 2.1.2 Typy sítí FTTx

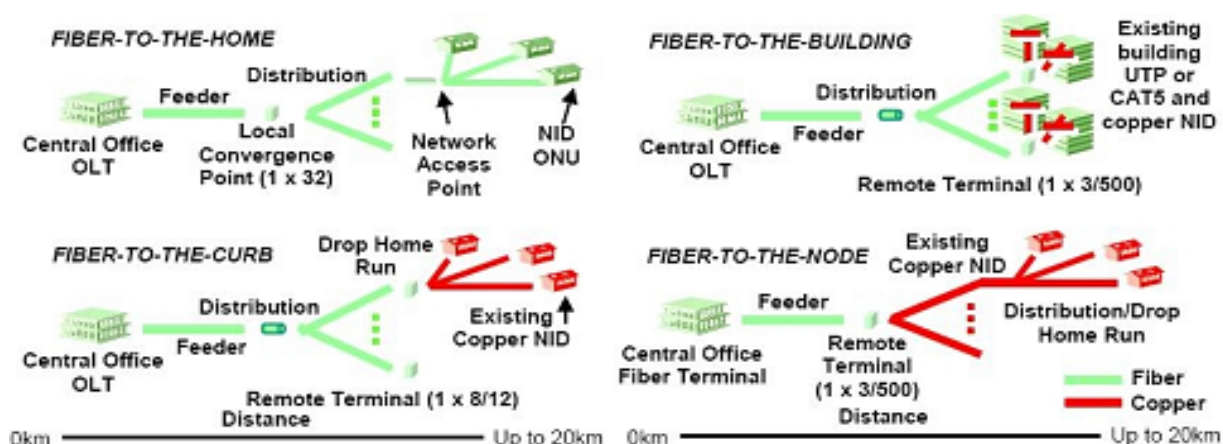
Optické přístupové sítě rozlišujeme podle umístění optické síťové jednotky (ONU), dle tohoto aspektu máme na výběr z několika variant FTTx[2]:

- FTTH (Fibre To The Home) – optické vlákno je přivedeno přímo k účastníkovi. Jedná se o nejlepší řešení, ale také nejdražší. Navíc kapacita vlákna by nemohla být využita, díky současné kapacitě páteřních sítí.
- FTTB (Fibre To The Building) – optické vlákno je přivedeno k budově. Optické zakončení je obvykle v suterénu budovy nebo blízko ní a odtud je pro přenos dat využito kroucených párů nebo koaxiálního kabelu. Toto řešení

je vhodné pro velké budovy velkých společností. Pro vnitřní rozvod je možno použít VDSL po metalických párech.

- FTTC (Fibre To The Curb) – přivedení optického vlákna k chodníku do venkovního rozvaděče. Jedná se o obdobu FTTN s tím, že rozdíl mezi nimi je dán bezprostředním okolím účastníků. „Node (Cabinet)“ umožňuje připojení 200 až 300 účastníků, čímž vykonává funkci kabelového rozbočovače. Zatímco v případě FTTC se jedná o napojení 10 až 20 účastníků zapojených na kabelovou odbočku umístěnou na kraji cesty (curb).
- FTTN (Fibre To The Node) – optické vlákno sahá od poskytovatele služeb k určitému místu sítě, například do venkovního rozvaděče na sídlišti, kde se pak signál rozvádí metalickým vedením k účastníkům.

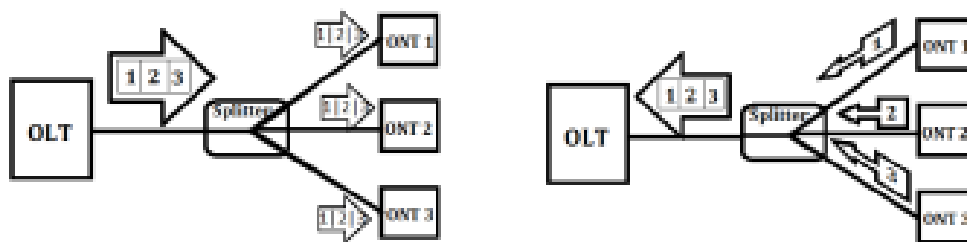
Systémy FTTC a FTTB se prakticky od sebe liší jen provedením rozvaděčů. Zařízení systémů FTTC jsou navrhována pro umístění ve volném prostoru (nároky na klimatickou odolnost). Výše uvedené typy ukončení lze navzájem kombinovat. Přehled uspořádání optických přístupových sítí znázorňuje Obrázek 2.1.



Obrázek 2.1 Typy architektury FTTx [2]

### 2.1.3 Pasivní optické sítě (PON)

PON síť je tvořena pasivními optickými prvky, používají se zde pasivní rozbočovače a vazební členy k rozdělení a distribuci přenosové kapacity ve vlákne mezi koncovými uživateli. Schéma přenosu dat ve vzestupném a sestupném směru vystihuje Obrázek 2.2. Dvěma základními prvky pasivních optických sítí jsou OLT (optical line terminal), neboli také optické linkové zakončení, které se nachází na straně ústředny, a na straně druhé se nachází sada připojených ONU jednotek (Optical Network Unit), jejichž funkcí je zakončení optické trasy a převod signálu z optické do elektrické oblasti. Oba tyto prvky vyžadují, na rozdíl od zbytku sítě, přítomnost elektrického napájení



Obrázek 2.2 PON: Vlevo schéma přenosu směrem k uživateli a vpravo schéma přenosu směrem k centrální jednotce OLT[6]

Ke standardizaci PON sítě jako plnohodnotného optického řešení došlo již v roce 1995, a následoval jejich rychlý rozvoj. Specifikace PON standardu zde nabízejí koncovému účastníkovi škálu širokopásmových služeb pro distribuci hlasu, videa a dat. K těmto přenosům jsou použity tři základní vlnové délky: [1]

- **1310 nm** - pro hlasovou a datovou komunikaci ve směru od uživatele k síti
- **1490 nm** - pro hlasovou a datovou komunikaci ve směru od sítě k uživateli
- **1550 nm** - pro přenos videa ve směru od sítě k uživateli

#### 2.1.3.1 APON, BPON

Tyto sítě jsou charakteristické tím, že je zde pro přenos informací využito ATM buněk (Asynchronous Transfer Mode). Jako specifikace G.983.1 existují APON sítě již od roku 1998, kdy došlo ke schválení organizací ITU-T (International Telecommunications Union-Telecommunication Standardization Sector).

Existují ve dvou variantách[1]:

- symetrická služba s rychlostí 155,52 Mbit/s,
- asymetrická služba s rychlostí 622,08 Mbit/s ze sítě k uživateli a rychlostí 155,52 Mbit/s ve směru opačném.

Standart BPON vychází z APON, přičemž je zde doplněna symetrická služba o rychlosti, 622,08 Mbit/s a přidána podpora WDM dělení. Mimo jiné umožňuje BPON, na rozdíl od svého předchůdce také dynamickou alokaci šířky pásma a má větší spolehlivost. Jako přenosové médium bylo zvoleno jedno optické vlákno, využívající pro obousměrnou komunikaci vlnové dělení nebo dvě optická vlákna pro každý směr zvlášť.

#### 2.1.3.2 GPON

Technologie GPON byla standardizována ITU-T v roce 2003 jako G.984.1. Můžeme ji považovat za nadstavbu technologie APON (BPON), která umožňuje dosáhnout vyšších přenosových rychlostí, zůstává však zachován princip širokopásmového přístupového modelu. Je možný přenos



---

pomocí ATM buněk, ale nově je také použitelná takzvaná metoda GEM, která zajišťuje přenos Ethernet rámců a IP paketů. Zásadní změnou je tedy využití paketově orientovaných služeb.

Uživatelé jsou nabízeny dva druhy přenosových rychlostí[1]:

- služba symetrická s rychlostmi 1244,16 Mbit/s, 2488,32 Mbit/s,
- služba asymetrická s rychlostí 1244,16 Mbit/s a 2488,32 Mbit/s ve směru ze sítě k uživateli, a rychlostmi 155,52 Mbit/s, 622,08 Mbit/s a 1244,16 Mbit/s ve zpětném směru.

#### 2.1.3.3 **EPON**

Vzájemná inter-operabilita se sítěmi, postavenými na technologii Ethernet byla zajištěna přijetím standardu EPON. Hlavní myšlenkou byla realizace standardu Ethernet až k uživateli a tím i velké zjednodušení navázání optiky na metalické lokální síť. Proto se používá rámců Ethernet s konstantní délkou 2 ms, definované v obou směrech. Technologie EPON je také navržena pro P2MP spojení. Síť EPON nesou také označení GEAPON, kde písmeno G definuje přenosovou rychlost, v tomto případě tedy Gigabit.

S ohledem na použitý optický výkon jsou definovány dva typy připojení [1]:

- **typ 1000 Base – PX10** do vzdálenosti 10 km s maximálním rozbočením 1:16
- **typ 1000 Base – PX20** do vzdálenosti 20 km a rozbočením až 1:32.

Přenosová rychlost EPON byla stanovena na 1244,16 Mbit/s symetricky.

#### 2.1.3.4 **10GEAPON**

Jak již naznačuje název, jedná se o pasivní optickou síť s přenosovou rychlostí 10 Gbit/s. Tato technologie je definována standardem IEEE 802.3av. Je zde samozřejmě zpětná kompatibilita s variantou EPON a uživatel má na výběr ze dvou rychlostních variant:

- připojení symetricky s rychlostí 10 Gbit/s,
- asymetrické připojení s rychlostí 10 Gbit/s ze sítě k uživateli a rychlostí 1 Gbit/s ve směru zpětném.

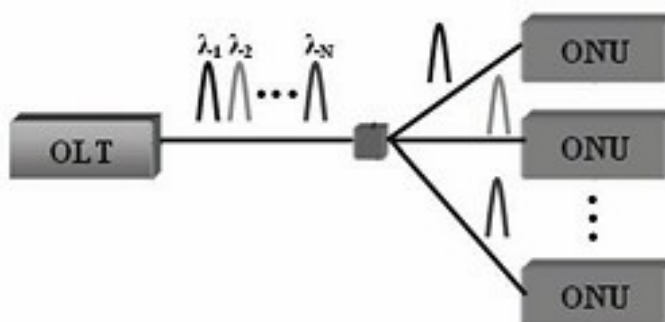
Jak již bylo zmíněno, je zde možnost propojení s variantou EPON, pokud je v praxi realizována tato možnost, jsou pro komunikaci ve směru od sítě k účastníkovi použity vlnové délky 1480 - 1500 nm (EPON) a 1575 - 1580 nm (10GEAPON). V tomto případě je vše v pořádku, problém nastává ve směru opačném, kdy jsou pro komunikaci užity vlnové délky 1260 - 1360 nm (EPON) a 1260 - 1280 nm (10GEAPON). Můžeme vidět, že v tomto směru dochází k jejich překrytí, proto se zde používá časové dělení TDMA, které umožňuje kompatibilitu s WDM-PON. Obrázek 2.3 ukazuje tabulku s porovnáním již zmíněných variant PON sítí [3].

varianta PON	APON/BPON	GPON	EPON (typ 2), GEPON	10GEPON
standard	ITU-T G.983	ITU-T G.984	IEEE 802.3ah	IEEE 802.3av
přenos. rychlost - sestupný směr	155,52 nebo 622,08 Mbit/s	1,244 nebo 2,488 Gbit/s	1,25 Gbit/s	10 Gbit/s
přenos. rychlost - vzestupný směr	155,52 nebo 622,08 Mbit/s (sym. BPON)	1,244 nebo 2,488 Gbit/s	1,25 Gbit/s	1 Gbit/s nebo 10 Gbit/s
vlnová délka - sestupný směr	1480 - 1500 nm	1480 - 1500 nm	1490 nm	1490 nm
vlnová délka - vzestupný směr	1260 - 1360 nm	1260 - 1360 nm	1310 nm	1310 nm
protokol na druhé vrstvě	ATM	ATM, Gem	Ethernet	Ethernet
max. počet uživatelů	32	64 předpoklad 128	32	32
logický/fyzický dosah sítě	20/20 km	60/20 km	20/20 km	20/20 km

Obrázek 2.3 Tabulka porovnání jednotlivých variant PON sítí [4]

### 2.1.3.5 WDM-PON

WDM (Wave Division Multiplex) – je systém multiplexování vlnových délek, a umožňuje tak zpracovávat datové toky o vyšších přenosových rychlostech. Princip demonstruje Obrázek 2.4, vlnové délky jsou na vstupu sdružovány do jednoho optického vlákna a následně na výstupu zase naopak demultiplexerem vyděleny a posílány k jednotlivým ONU jednotkám.



Obrázek 2.4 Princip WDM. [5]

Zkombinováním technologie WDM a TDMA dosáhneme maximálního využití přenosového pásma. V současné době dovolují WDM systémy sdružení až 128 vlnových délek, přičemž je na světě i varianta 256 vlnových délek do jednoho optického vlákna. Přenosovou rychlost můžeme snadno určit součinem přenosové rychlosti jednoho TDM kanálu a celkového počtu kanálu, pro 128 vlnových délek získáme tedy pro jedno optické vlákno maximum 1,28 Tbit/s.

Ve výsledku se díváme na hybridní WDM - TDMA síť, které jsou založeny na standardu ITU-T G.694.2. Tento standard definuje konkrétní vlnové délky pro vlnové dělení, čímž se dostáváme k rozdělení do tří variant vlnového dělení podle vzájemného odstupu vlnových délek. Těmito variantami jsou CWDM (Coarse neboli hrubý WDM), hustý DWDM (Dense WDM) a ultra hustý UDWDM multiplex. U technologie WDM-PON, jsou z OLT vysílány vlnové délky pro všechny

---

účastníky v jednom vlákne a na optické trase je použit pasivní WDM filtr (AWG), který zajistí vydělení vlnových délek pro jednotlivé ONU jednotky. [4]

### **Základní varianty WDM - PON**

#### Pevně přidělené vlnové délky

Tento způsob je realizován pomocí rozbočovače, jehož funkcí je přenos veškerých vlnových délek, postupujících ve vlákne až ke koncovým jednotkám ONU/ONT. Tyto jednotky v sobě obsahují WDM filtry, které zajistí vydělení pouze konkrétních vlnových délek z celého spektra. Přenos ve směru od koncové jednotky ONU je řešen fixně nastavenou vlnovou délkou na které probíhá datová komunikace. Tato konfigurace však v sobě ukrývá bezpečnostní rizika, zachycení provozu. Jelikož je ke každé koncové jednotce distribuován úplný datový tok, proto je třeba takovéto přenosy zabezpečit proti síťovým útokům. [6], [7]

#### Vydělování vlnových délek

Tento druh WDM -PON je postaven na takzvaných AWG směrových odbočnicích (filtrech), které zajistí vydělení jednotlivých vlnových délek z příchozího datového toku a distribuují je k jednotlivým koncovým jednotkám ONU. Tímto se již nemusíme zabývat bezpečnostními riziky, zmíněnými v předchozí konfiguraci. Ve sestupném směru (downlink) jsou konkrétní nosné vlny distribuovány na stejné vlnové délce. V opačném směru (uplink) máme pro každou koncovou jednotku definovanu předem přidělenou vlnovou délku. Navíc je oproti předchozí metodě znatelně snížen útlum přijímacího bloku, což je způsobeno odstraněním WDM filtrů z koncových jednotek a lepšími charakteristikami AWG filtrů. [6], [7]

#### Kaskádní zapojení

Tato varianta je realizována za pomoci kombinace předchozích dvou způsobů WDM, tak abychom dosáhli vyšší účinnosti při přesnosti vydělení jednotlivých vlnových délek ze datového toku a zjednodušení síťové topologie. Koncové jednotky ONU/ONT v sobě obsahují přeladitelné filtry, které umožňují aktivní přidělování vlnových délek jednotlivým ONU v závislosti na jejich aktuálním využití. Lze tak užít aktuálně nepoužité vlnové délky, tak abychom uspokojili požadavky koncového uživatele. Tento mechanismus se označuje také jako DWA (Dynamic Wavelength Assignment) [7]

### **2.1.4 Aktivní optické přístupové sítě (AON)**

Aktivní optická síť se liší od pasivní optické sítě třemi hlavními rozdíly. Na trase jsou použity aktivní prvky sítě Ethernet k venkovnímu použití, které zajišťují přístup na vlákno a agregaci. Místo sdílení přenosové šířky pásma mezi několika koncovými uživateli preferuje toto řešení vyhrazený kanál každému uživateli, který je plně obousměrný – kdy upload je roven

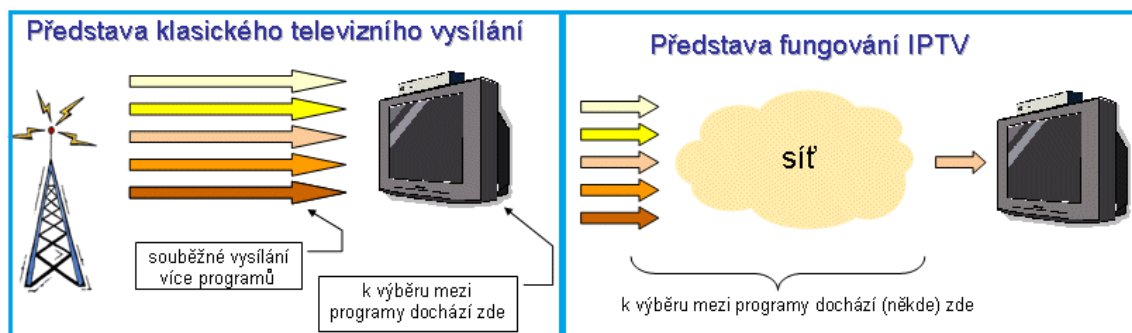
downloadu. Třetí rozdíl v architektuře oproti PON je maximální délka trasy. U PON musí být nejvzdálenější koncový uživatel ve vzdálenosti 10 – 20 km od centrální jednotky v závislosti na konkrétních podmínkách a počtu použitých rozbočovačů. AON má na druhé straně limit na vzdálenost přibližně 80 km v závislosti na počtu koncových uživatelů, kteří mají být obslouženi. Počet uživatelů je v tomto případě dán počtem použitých switchů a ne infrastrukturou samotnou, jak je tomu u PON. [4]

## 2.2 Distribuce TV v optických přístupových sítích prostřednictvím IPTV

Nové IPTV služby mohou být viděny jako kombinace televize s vysoce interaktivními internetovými koncepty. Výsledek je řada nových aplikací založených na doručení audiovizuálního obsahu v obousměrné, zákaznický přizpůsobené a řízené cestě.

IPTV je dozajista odlišná od klasických způsobů TV vysílání. Můžeme zde pozorovat změnu ve funkci jednotlivých uzlů sítě, kde dochází k přepínání mezi jednotlivými televizními kanály a s tím související také počet souběžně sledovaných kanálů či další doplňkové služby.

Klasickým způsobem vysílání televizního vysílání uvažujeme broadcasting, což ve své podstatě definuje souběžné vysílání ke všem koncovým účastníkům, které znázorňuje Obrázek 2.5. Tento způsob šíření umožňuje také současné vysílání většího počtu televizních programů na vyšším počtu přenosových kanálů, u kterých dochází k vydělení až u příjemce neboli koncového účastníka. Tento způsob vysílání zvyšuje nároky na šířku přenosového pásma, čímž snižuje efektivitu využití frekvenčního spektra, avšak zároveň umožní uživateli přijímat všechny nabízené programy. Tok informací je v tomto případě jednosměrný distribuovaný ke všem uživatelům zcela jednotvárně a není možná detekce počtu příjemců a momentálně sledovaných programů na přijímačích zákazníků. Není tedy žádná možnost přizpůsobení přijímaného signálu dle konkrétního příjemce. [8]



Obrázek 2.5 Základní představa fungování IPTV v porovnání s klasickým televizním vysíláním[9]

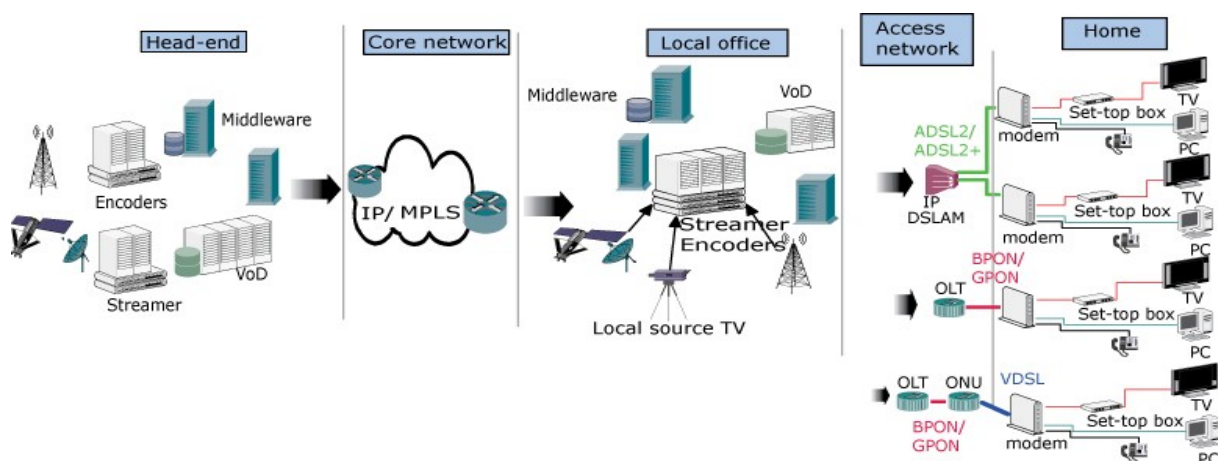
Hlavní odlišností IPTV je distribuce vysílaných programů po síti. V tomto případě bude poskytovatel vysílat všechny programy, které má ve své nabídce, avšak síť bude přenášen pouze

účastníkem navolený program, jak ukazuje Obrázek 2.5. Pokud má tedy účastník předplacenu službu IPTV místo klasického digitálního televizního příjmu, vyvstává pro něj problém, který celou jeho domácnost bude limitovat ke sledování pouze jednoho televizního programu v daný okamžik. V případě klasické digitální TV bychom tento problém vyřešili zvýšením počtu digitálních přijímačů. Avšak u IPTV, jelikož se jedná o připojení na stále na stejnou přípojku a od poskytovatele je vysílán pouze konkrétní program, musíme koncového uživatele vybavit také další přípojkou IPTV, což znamená navýšení měsíční nákladů. Při přepnutí na jiný kanál, musí uživatel u IPTV v konečném důsledku zažádat, což přináší do přenosu další časové zpoždění, které se nazývá "channel zapping", a můžeme jej definovat, jako zpoždění, vznikající časovou prodlevou při vyslání požadavku uživatelem, zpracování požadavku a následné vrácení audiovizuálního obsahu zpět k uživateli. Toto zpoždění je velice těžko odstranitelné a je špatnou vlastností IPTV služeb, které jsou často zmiňovány. [8], [9]

Obousměrná datová výměna v případě IPTV je velkou výhodou z hlediska určení konkrétních uživatelů a sledovaného obsahu. Poskytovatel služeb je velice dobře informován o aktuálním počtu koncových příjemců, může detekovat typ sledovaného obsahu a přijímaných signálů. Je zcela zřejmé, že IPTV model přináší, na rozdíl od klasického příjmu TV signálu, zákazníkovi velkou míru interaktivity a zpětné vazby od poskytovatele, která zvyšuje úroveň Televizní služby jako takové. Velice populární službou je pro uživatele možnost, dle svého vlastního výběru, zpětně si přehrát televizní pořad popřípadě na určité časové období zaplatit a přehrávat si film z tzv. domácí videopůjčovny. [8], [9]

### 2.2.1 Architektura IPTV

Topologické uspořádání IPTV sítě přehledně rozlišuje Obrázek 2.6.



Obrázek 2.6: Znáznornění jednotlivých vrstev v architektuře IPTV[12]

Podle [12] se architektura IPTV skládá z následujících částí:

- Head-end

- 
- Core network
  - Local office
  - Access network
  - Home

#### **2.2.1.1 Head-end**

Head-end je jádrem celé IPTV architektury, je místem příjmu, kódování a zpracování obrazového signálu, po kterém se zde vytváří jednotlivé datové proudy, distribuované v síti poskytovatele. Všechny tyto televizní a rozhlasové kanály jsou většinou získány ze satelitního nebo pozemního vysílání. V tomto centrálním zpracování je přijatý audio/video signál nejprve zpracován a následně streamován (vyslán) do páteřní sítě poskytovatele těchto služeb. Signál může být buďto ve spojitě analogové nebo digitální formě. V případě analogového signálu dochází nejprve k jeho digitalizaci a poté kompresi (AVC, VC-12, MPEG-2, MPEG-4), u digitální podoby je buďto zachováno původní kódování přijatého signálu, popřípadě je signál transkódován jiným kodekem.

Datový proud vysílaný z Head-End jádra sítě obsahuje pouze konkrétní stream televizního nebo rádiového kanálu, který byl zvolen uživatelem. Jelikož přenos kompletních datových proudů, obsahujících příjemcem zvolený kanál až ke koncovému uživateli (příjemci) by byl velice neefektivní pro využití přenosové kapacity páteřní sítě poskytovatele, a došlo by k zahlcení této sítě.

#### **2.2.1.2 Core network**

Funkcí páteřní sítě poskytovatele je přenos velkého objemu dat do přístupových sítí, které se postarají o distribuci ke koncovému uživateli. Jsou obvykle postaveny na technologiích:

- IP/MPLS
- Metro ethernet.
- ATM over SDH/SONET

#### **2.2.1.3 Local office**

Pod pojmem Local office si můžeme v IPTV architektuře představit takzvané regionální odbavovací centrum, které v sobě obsahuje většinou servery VoD nebo servery TV archívů. Jeho hlavní funkcí je přidat k vysílaným kanálům rozhlasové/TV stanice s regionálním obsahem. A jak již bylo zmíněno, umožňuje uživateli nahrávání zvolených televizních pořadů, což umožňují služby PPV4, VCR5. Dále jsou v tomto centru také uloženy další filmy, které jsou účastníkovi kdykoliv za určitý poplatek dostupné, a lze je v průběhu 24 hodin přehrát. Toto je charakterizováno službou VoD (video na přání).

---

#### 2.2.1.4 *Access network*

Úkolem přístupové sítě v IPTV architektuře je distribuce jednotlivých, datových toků směrem k zákazníkovi. Jsou zde velice vysoké nároky na přenosovou kapacitu sítě. A proto se jako nejvhodnější jeví tyto technologie:

- xDSL
- bezdrátová síť
- optická vlákna (FTTx)

#### 2.2.1.5 *Home*

V koncové části IPTV topologie se nachází zákaznická zařízení - set top boxy, stolní počítače, popřípadě modemy, či jiné převodníky. Úkolem těchto koncových zařízení je převod přijatého datového toku na signál, zobrazený na televizním přijímači, PC. Pokud je jako přijímací zařízení PC, dochází zde k jeho dekodování, které je realizováno pomocí přídavných DVB karet, obsažených v HW vybavení počítače. Pokud se u uživatele nachází IP set top box, příchozí IP pakety jsou dekodovány a převedeny na televizní obraz, zobrazený na TV přijímači.

### 2.2.2 **Služby poskytované v IPTV**

Základními službami, zprostředkovanými IPTV je distribuce televizního a rozhlasového vysílání. Je zde však ještě mnoho dalších doplňkových služeb, které jiné typy digitálního vysílání poskytovat nemohou. Jedná se například o televizní kanály se specializovaným zaměřením, které se v běžném televizním vysílání neobjevují a jsou výsadou konkrétních poskytovatelů. Další velice žádanou IPTV službou jsou televizní kanály vysílané v HD kvalitě (HDTV), které jsou díky vysoké kapacitě IPTV sítě pohodlně přenášeny. V případě IPTV máme na mysli dvě základní skupiny služeb:

- služby s lineárním obsahem
- služby s nelineárním obsahem

Služby s lineárním obsahem jsou definovány tím, že pro ně platí pevně stanovené vysílací schéma. Zařazení konkrétního obsahu a jeho doba šíření jsou definovány u poskytovatele služeb - vysílány jsou datové streamy k rozsáhlým koncovým skupinám uživatelů. Jako příklad si můžeme uvést klasické televizní / rádiové stanice, které jsou různými způsoby distribuovány k uživateli nebo službu placené pořady.

Naproti tomu služby s nelineárním obsahem nemají pevné vysílací schéma. O jejich začátku, jejich obsahu a délce trvání si rozhodne každý příjemce sám. Sítě jsou distribuovány individuální datové streamy, které jsou určeny vždy pouze uživateli, který o ně zažádal. Z hlediska efektivity využití přenosové kapacity páteřní sítě poskytovatele, se servery, které distribuují video streamy,

---

nacházejí co nejbližší přístupové síti, aby nedocházelo k vysoké zátěži páteřní sítě. Pokud bychom se měli bavit o konkrétních příkladech, jedná se o službu VoD – video na přání.

#### **2.2.2.1 EPG (Electronic Programming Guide)**

EPG je doplňkovou službou digitální televize, jedná se vlastně o programového průvodce, který se zobrazuje na obrazovce televizního přijímače. Tyto informace jsou vysílány spolu s televizními / rádiovými kanály v jednom datovém toku, na televizním přijímači či set top boxu dojde k jejich oddělenému zpracování. Standardně bývá EPG zabudovaný přímo do IP set-top-boxu (popř. televizního přijímače, pokud jej podporuje). Díky tomu jsou na přijímači zpracovány pouze informace, které jsou obsaženy v souhrnném datovém toku a přijímač je dokáže rozlišit. Pokud se poskytovatel rozhodne, že bude EPG poskytovat jako svou interaktivní službu, bude na rozdíl od první varianty informační obsah do TV přijímače nebo set-top-boxu automaticky stahován. Celkový vzhled a provoz programového průvodce je pro každý typ přijímače specifický. Programový průvodce nabízí přehled vysílaných pořadů až na týden dopředu a je v něm na rozdíl od standardních novinových přehledů možné vyhledávat filmy (pořady) podle režisérů, herců, distribuční společnosti nebo žánru. Tato služba není nabízena pouze u IPTV, nabízí ji i ostatní typy digitálního vysílání jako např. DVB-T. [13]

#### **2.2.2.2 VoD (Video on Demand)**

Jednou ze služeb s nelineárním obsahem je služba video na přání VoD. Vysílání jednotlivých datových streamů je realizováno pouze individuálním příjemcům, kteří mají o tuto specifickou službu zažádáno a pouze ve stanovenou dobu, kterou si příjemce sám zvolí. Princip fungování služby video na přání lze přirovnat k video-archívu, kde nejsou filmy uloženy na fyzických nosičích, jako jsou CD, DVD, HDD, zákazník si pouze zakupuje práva na sledování konkrétního pořadu či filmu. Těmito právy je u poskytovatele služby zákazníkovi zpřístupněn požadovaný datový stream. Tento titul může být na TV přijímači přehráván libovolně po určitou dobu, nejčastěji po dobu 24 hodin. Po uplynutí této doby je přístup uživatele k datovému streamu opět uzavřen. [10], [11]

#### **2.2.2.3 PPV (Pay Per View)**

Služba PPV Pay Per View, což doslovně znamená „plat’ podle zhlédnutí“, umožňuje příjemci objednat si jeden konkrétní televizní pořad, který může opakovaně sledovat. Na rozdíl od předchozí služby se jedná o službu s lineárním obsahem. Zákazník si daný pořad objedná a poté je pořad opakovaně vysílán současně s televizními a rozhlasovými stanicemi v souhrnném datovém toku. Pokud uživatel zaplatí požadovaný poplatek, je mu v určitou dobu umožněn přístup ke konkrétnímu datovému streamu. Příslušný pořad je pak možno sledovat buď přímo, nebo si jej uživatel může nahrát na pevný disk a shlédnout jej později. [10], [11]



---

#### 2.2.2.4 *VCR (Video Cassette Recorder)*

Služba VCR umožňuje uživateli služeb IPTV nechat si nahrát svůj oblíbený pořad popřípadě film, který nebude schopen shlédnout a následně si jej přehrát. Zákazník může nahrát tento datový stream přímo do svého IPTV přijímače nebo realizovat nahrávání u poskytovatele. V prvním případě musí mít příjemce svůj set-top-box vybaven pevným diskem, kde se nahraný datový stream uloží a může být kdykoliv přehrán. V případě druhém nahrávání provádí video servery. Jakmile zákazník zadá požadavek o nahrávání, začne video server lokálně nahrávat zvolený program. Záznam se ve video serveru nachází určitou dobu, po kterou si jej zákazník může kdykoliv přehrát. Pokud je nahrávání realizováno pomocí IP set-top-boxu, není přehrávání časově omezeno, protože záznam je uložen na disku IP set-top-boxu. Napříč tomu na video serveru je nahrávka časově omezena. [10], [11]

#### 2.2.2.5 *My Own TV*

Další poskytovanou službou IPTV je My Own TV. Pomocí této služby si může každý zákazník sám vytvořit záznamy, které obsahují jeho vlastní videonahrávky či fotografie. Svá autorská díla pak lze sdílet s dalšími účastníky. [10]

#### 2.2.2.6 *Superteletext*

Jedná se o nastavbu klasického teletextu, velmi dobře známého z analogového vysílání. Funguje také na obdobném principu, kdy si účastník je schopen listovat předem připravenou informační databází, která je vysílána stále dokola. Vše je v plně grafickém režimu, a je zde k dispozici řada dalších funkcí, které s tímto grafickým režimem kooperují. Vzhled celého rozhraní je přizpůsoben parametrům TV přijímače.

Velice příjemnou změnou oproti starému analogovému teletextu je prohlížení webových stránek, které je umožněno díky plně grafickému režimu služby a také díky obousměrnému přenosu signálu u IPTV. Vše funguje tak, že IP set-top-box má v sobě úložiště, kde mohou být internetové stránky ukládány, a umožňuje tedy i jejich Off-line prohlížení. Off-line prohlížení internetových stránek je mnohdy velice užitečná služba, kterou nám dokáže IP set-top-box poskytnout. Webové stránky jsou přizpůsobeny jak možnostem zobrazení na televizním přijímači, tak i pro ovládání dálkovým ovladačem, který můžeme v případě podpory IP set-top-boxu vyměnit za klávesnici. [14]

#### 2.2.2.7 *Kontrola účtu*

V případě zřízení zákaznického účtu je uživateli umožněno využívat služby zvané Kontrola účtu. Tato služba zprostředkovává pro zákazníka informační přehled o stavu jeho účtu pro předplacené služby v rámci IPTV nebo všech objednaných a vypůjčených titulech prostřednictvím služby VoD a PPV. [11]

---

#### 2.2.2.8 *Rodičovský zámek*

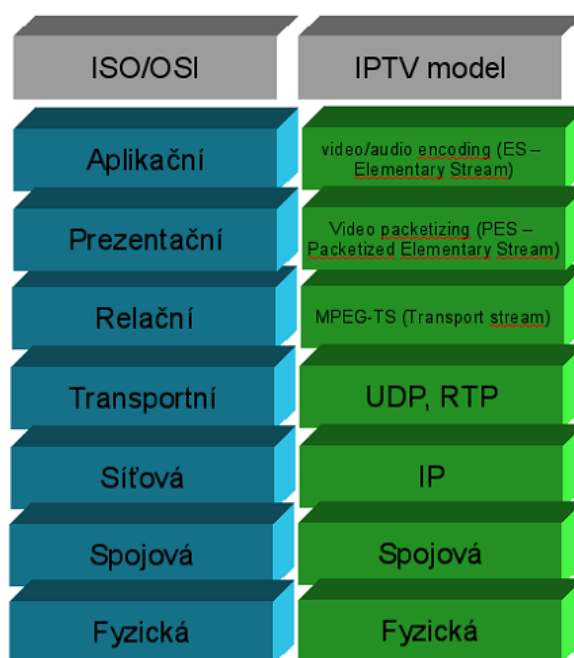
Pokud vlastní účastník podporovaný model IP set-top-boxu, může si vytvářet jednotlivé profily pro sledování TV nabídky. Takto vytvořené profily umožňují reorganizaci nabídky jednotlivých programů dle svého vlastního uvážení, blokování konkrétních programů či dokonce zpřístupnění pouze některých pořadů na daných televizních stanicích. Tím pádem je nevhodný obsah blokován, aby jej nemohly shlédnout například děti. U jednodušších set-top-boxů je tato sofistikovanější funkce nahrazena uživatelským heslem, které zabraňuje v přístupu k určitým televizním programům. [10], [11]

#### 2.2.2.9 *MHP (Multimedia Home Platform)*

IPTV a každé digitální vysílání nabízí širokou škálu interaktivních služeb, se kterými se již v dnešní době zcela běžně setkáváme. Diváci je ovšem považují spíše za standard některých pořadů. Běžnému uživateli je velice známým a běžně užívaným interaktivním prvkem například zasílání SMS při hlasování. Platforma MHP byla zvolena jako jednotné univerzální prostředí, které je možné provozovat na všech IP set-top-boxech. IP set-top-box však musí mít tuto platformu v sobě zabudovanou. Jelikož je platforma MHP jednotná, jsou i všechny interaktivní služby bez rozdílu set-top-boxu stejné. Platforma MHP většinou podporuje také obecnou ochranu obsahu (včetně ochrany proti neoprávněnému zásahu či ochrany proti virům) a případnou aktualizaci poskytovaných služeb ze sítě, podle potřeb zákazníka. Lze vytvořit nespočetné množství interaktivních služeb, postavených na MHP platformě, mnoho z nich je nám již dobře známo, většinou se jedná o služby, jako jsou webový prohlížeč, internetové služby (SMS zprávy, elektronická pošta, Home banking, IM), VoIP, EPG, hry, Superteletext a další. Nasazení multimediální platformy MHP by mělo současnou interaktivitu digitální televize posunout o krok dále a tím umožnit rozvoj dalších služeb. [15], [16]

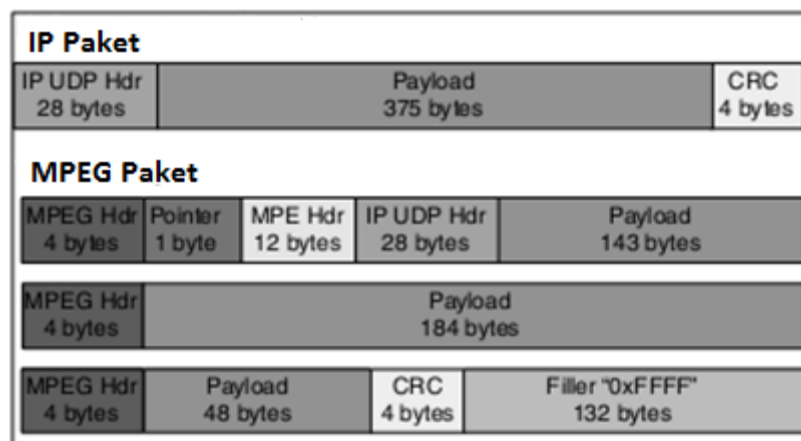
### 2.2.3 **IPTV MODEL**

IPTV komunikační model je vytvořen na vrstevné struktuře referenčního modelu ISO/OSI. Osahuje obdobně jako ISO/OSI sedm vrstev, přičemž každá z vrstev plní svou specifickou funkci. Poté, co každá vrstva vykoná svou činnost, jsou multimediální datové celky předány na další úroveň, kde jsou zpracovány další vrstvou. pro srovnání je uveden Obrázek 2.7, kde jsou modře znázorněny vrstvy OSI modelu a zeleně vrstvy modelu pro přenos multimediálních dat v IPTV.



Obrázek 2.7 IPTV komunikační model [10]

Horní část IPTV modelu se věnuje jednotlivým formátům a také aplikacím, přičemž spodní část IPTV modelu se zabývá samotným přenosem dat. Datový stream projde řadou operací než je úspěšně distribuován do sítě. Nejprve je signál získán ze satelitního (DVB-S, DVB-S2, analog) nebo pozemního (DVB-T, analog) vysílání. V případě analogového signálu dochází nejprve k jeho digitalizaci a poté kompresi (AVC, VC-12, MPEG-2, MPEG-4), u digitální podoby je buďto zachováno původní kódování přijatého signálu, popřípadě je signál transkódován jiným kodekem. Nově vzniklý, souvislý datový tok je rozdělen do tzv. malých PES bloků - tímto je vytvořen základní paketový tok. Bloky jsou dále sdružovány do vyšších přenosových datových toků, nazývaných MPEG-TS9. Před tím jsou tyto datové bloky opatřeny záhlavím snímku a záhlavím bloku dat. Proces MPEG enkapsulace znázorňuje Obrázek 2.8.



Obrázek 2.8 Proces MPEG enkapsulace[8]

---

Takto zpracovaný multimediální signál dále vstupuje do dolních čtyř vrstev IPTV modelu (UDP/RTP10, IP, spojová, fyzická). Tyto čtyři vrstvy slouží k dalšímu zapouzdření přenášeného signálu a k jeho přenosu mezi zdrojem nebo-li vysílacím serverem a koncovými uživateli. [9]

### **2.2.3.1 IP protokol**

IP protokol realizuje komunikaci na síťové vrstvě modelu RM-OSI, tento protokol plní v technologii IPTV zcela rozhodující úlohu, jak již bylo zmíněno IPTV je moderní variantou šíření televizního vysílání přes počítačovou síť prostřednictvím IP protokolu. Hlavním úkolem IP protokolu je přenos IP paketů přes IP síť. Jako hlavní část síťové vrstvy, se stará o dopravu paketů mezi dvěma libovolnými cílovými stanicemi v síti. IP pakety neboli datagramy jsou přenášeny k cílové stanici pomocí směrovačů, obsažených v síti. Každý směrovač řeší směrování k následujícímu směrovači tak, aby data dorazila k příjemci. IP protokol obsažen ve směrovači rozhoduje kudy bude příslušný IP paket směrován na cestě k cíli. Jako primární protokol pro přenos dat se IP protokol nestará o chyby při přenosu a přenášená data jednoduše zahazuje, tak aby byl samotný přenos co nejefektivnější. Nazýváme jej proto nespolehlivým protokolem, jelikož při neúspěšném přenosu paketů, nepodniká žádné kroky k nápravě. Funkce zabezpečení proti chybám v přenosu je v režii dílčích protokolů vyšších vrstev.

Další charakteristickou vlastností IP protokolu je jeho nespojované fungování. Jako nespojovaný protokol neinicuje spojení před každým přenosem paketů síti. Proto je rozdělen do několika dílčích protokolů, které se starají o režii spojení. Dělení je následující:

- vlastní protokol IP,
- služební protokol ICMP k signalizaci mimořádných stavů,
- služební protokol IGMP, pro dopravu adresných oběžníků (vysvětlen v kapitole 2.7)
- služební protokoly ARP a RARP, které jsou často vyčleňovány jako samostatné, na IP nezávislé protokoly.

V dnešní době je IP protokol základním komunikačním protokolem síťové vrstvy a jeho implementace je zcela majoritní. Vytváří nám jednotné přenosové prostředí, které zaručuje pohodlné propojení mezi jednotlivými sítěmi, které fungují na jiných přenosových technologiích z hlediska fyzické vrstvy. Zajišťuje bezproblémový provoz sítě internet bez rozdílu použitých přenosových technologií. [10], [17]

### **2.2.3.2 UDP protokol**

UDP je protokolem transportní vrstvy, jehož úkolem je doprava dat mezi konkrétními aplikacemi, běžícími na koncových stanicích. Pro přenos dat využívá přenosového protokolu IP na třetí vrstvě. Jedná se o nespolehlivý a nespojově orientovaný protokol, podobně jako je tomu u IP

---

protokolu. Nevyužívá žádných mechanismů pro potvrzení správnosti přenosu, případně možnosti opakování přenosu, a není tudíž zabezpečen proti chybám. Na jednom síťovém uzlu může běžet i více aplikací, proto je nutné zajistit, aby každá z nich dostávala pouze „svá“ data. Proto jsou přenášena data opatřena informací, která umožní rozlišit, kdo přesně je odesílatelem a kdo příjemcem - takzvanou „absolutní“ a „relativní“ adresou. „Absolutní“ adresou je IP adresa, jež definuje uzel jako celek a „relativní“ adresa tzv. číslo portu, která reprezentuje už konkrétní aplikaci (port 80 - WWW server). Protokol UDP je použit hlavně u „real-time“ přenosů, kde se počítá se ztrátami dat, a není vhodné ztrácet čas novým odesíláním nedoručených zpráv.

Rozšířenou alternativou protokolu UDP je protokol TCP, který mění charakter IP protokolu na spolehlivý a spojově orientovaný. TCP využívá potvrzení o přijetí, opětovné posílání a překročení časového limitu. Pokud jsou v případě TCP odeslány dvě zprávy, jedna po druhé, dorazí k serveru v pořadí, v jakém byly odeslány, vyznačuje se také větším množstvím potřebných režijních informací. Není však možné očekávat jejich opětovné, bezchybné doručení. Čekání na nová data by totiž mohlo vést k rozsynchronizování přehrávání. Proto se v technologii IPTV pro přenášení audiovizuálních služeb využívá transportní protokol UDP. [10], [18]

#### **2.2.3.3 *Protokol RTP a RTCP***

Tento protokol si lze přestavit jako alternativu k protokolům TCP a UDP. Jde však o protokol, který funguje „nad“ protokolem UDP, je tedy pomocí UDP protokolu přenášen. Protokol RTP definuje formát pro přenos obrazových a zvukových dat přes IP síť. RTP sám o sobě data nepřenáší, ale disponuje procedurami, které umožňují rekonstrukci přenášených dat na straně příjemce. Je navržený tak, aby byl oddělen přenos uživatelských dat od dat řídicích. Velmi často se tento protokol používá ve spojení s řídicím RTCP protokolem, jež poskytuje pouze řídicí informace pro RTP, ale sám žádná data nenese. Hlavní funkcí RTCP je poskytování zpětné vazby na kvalitu služeb (tzv. QoS) poskytovanou RTP protokolem. Shromažďuje údaje o mediálním spojení a informace jako například počet odeslaných bajtů, počet odeslaných a ztracených paketů, kolísání zpoždění (tzv. jitter), zpětnou vazbu a dobu odezvy. Pro přenos uvedených informací používá, stejně jako RTP, protokol UDP, ale s rozdílným číslem portu. [10]

#### **2.2.3.4 *RTSP protokol***

Jedná se o řídicí protokol, který má základ v RTP protokolu. Společně se tyto protokoly starají o doručení multimediálních dat k uživateli. Bavíme se o řízení doručování multimediálních dat v reálném čase formou unicast vysílání. Uživatel získá plnou kontrolu nad poskytovaným multimediálním datovým tokem. Vše funguje na principu multimediálního přehrávače. Umožňuje uživateli přehrávání multimediálních dat postavit, následně ze stejného místa opět spustit, přetáčet tam i zpět atd. [19]

---

### 2.2.3.5 *PIM protokol*

Jedná se o skupinu routovacích protokolů, které umožňují distribuci multicast dat přes Internet. Tyto protokoly jsou aktivní, mezi lokálním a vzdáleným multicast směrovačem, pro směrování multicastu od serveru k řadě uživatelů. Pro směrování je užito standardních routovacích protokolů. PIM realizuje přeposílání dat skrze distribuční stromovou strukturu, kterou vytváří. [20]

Podle [20], má PIM protokol několik módů činnosti:

#### RP (Rendezvous Point)

Setkávacím místem pro zdroje a příjemce multicast provozu je tzv. Rendezvous Point (dále RP). Je to společný kořen pro sdílené stromy. Zdroje multicastu posílají provoz na tento bod a ten realizuje přeposílání přes sdílené stromy všem členům skupin. Díky RP se lépe využijí síťové zdroje, bez záruky na optimální cestu.

#### PIM-SM (Sparse Mode)

Většinou se uživatelé, kteří chtějí přijímat multicast, v síti nachází velmi řídce, takže Sparse Mode posílá provoz pouze směrovačům, které o něj zažádají. Je využito jednosměrných sdílených stromy s kořenem v RP a je možno vytvářet stromy nejkratších cest pro zdroje. Zdroje posílají multicast přímo připojeným směrovačům tzv. designated router (směrovače s nejvyšší IP, dále DR). DR je zabalí a jako unicast pošle RP. RP je následně pošle členům multicast skupiny. RP oznamuje zdroje a vytváří cestu od zdroje ke členům skupiny a teprve potom posílá multicast data.

#### PIM-DM (Dense Mode)

Provoz je odesílán do všech směrů, jako v případě, že téměř všichni chtějí provoz přijmout. Pokud některý sousední směrovač provoz nechce, tak to musí oznámit. Vytváří se strom nejkratších cest. Vše funguje na tzv. flood and prune metodě, ta nejprve zaplaví doménu multicastem a pak ořezává větve, kde se nenacházejí příjemci. Vhodné pro LAN, kde jsou členové hustě umístěni v síti.

#### PIM-SDM (Sparse-Dense Mode)

Pokud nemáme RP, tak funguje jako PIM-DM, jinak funguje jako PIM-SM.

#### PIM-BM (Bidirectional Mode)

Vytváří obousměrné sdílené stromy, avšak nikdy ne strom nejkratších cest, může tedy mít delší end-end vzdálenost, na druhou stranu se dobře škáluje.

#### PIM-SSM (Source Specific Multicast)

Jsou vytvářeny stromy, které mají kořen pouze v jednom zdroji. Adresa vysílače je známá a příjemci se registrují přímo k tomuto zdroji vysílání.

---

#### 2.2.3.6 **IGMP protokol**

Protokol IGMP je reprezentantem IP multicast přenosu v lokálních sítích. Hlavní úlohou tohoto protokolu je informovat o stavu členství ve skupinách mezi směrovači podporujícími multicast vysílání a členy skupin multicast vysílání v lokální síti. Informace o členství v multicast skupinách dodávají jednotliví členové těchto skupin prostřednictvím IGMP protokolu sami, zatímco stav členství je testován směrovači. Směrovače používající tento protokol pravidelně naslouchají zprávám protokolu IGMP a systematicky odesílají dotazy s cílem zjistit, které multicast skupiny jsou v síti aktivní. V IPTV se využívají tyto multicast protokoly:

- IGMP verze 1 - dotaz členství a ohlášení,
- IGMP verze 2 a 3 - zprávy o přihlášení (Join Group) a odhlášení (Leave Group) z multicast skupiny.

IGMP verze 1 dnes již využívá jen malé množství zařízení a operačních systémů. Hlavním rozdílem verze 1 proti novějším je to, že příjemci multicast vysílání nemají možnost routeru oznámit, že si již nepřejí přijímat daný multicast. To se řešilo pouze vypršením časového limitu.

Struktura IGMP verze 2 a 3 je podobná, ale paket verze 3 má variabilní délku. Zásadní změnou proti předchozím dvěma protokolům je, že je možné uvést zdroje v rámci skupiny, které si přeje poslouchat. [21]

#### 2.2.3.7 **MPEG-TS**

MPEG-TS je komunikační protokol multimediálních dat. Jedná se o typ digitálního kontejneru, který zahrnuje tzv. PES bloky (základní paketový tok). Do něj jsou dále přidávány režijní data, která mimo jiné definují strukturu samotného kontejneru. MPEG-TS je specifikován ve standardu MPEG-2. Nabízí opravu chyb při distribuci přes nedůvěryhodná média, proto je využíván například pro vysílání digitální televize nebo streamování multimediálních dat po síti. Obdobou tohoto komunikačního protokolu je protokol MPEG-PS, který se využívá v prostředí, kde opravu chyb dokáže zajistit jiná technologie, například DVD. [22]

#### 2.2.4 **Metody vysílání užívané v IPTV**

U posílání dat do počítačové sítě je důležité zvolit správné adresování dat. S tím úzce souvisí metoda vysílání. Záleží na tom, zda mají být data zaslána pouze jednomu nebo několika uživatelům najednou. V IPTV jsou reprezentovány dvě základní metody vysílání. Porovnání mezi nimi přesně ukazuje Obrázek 2.9. [22]

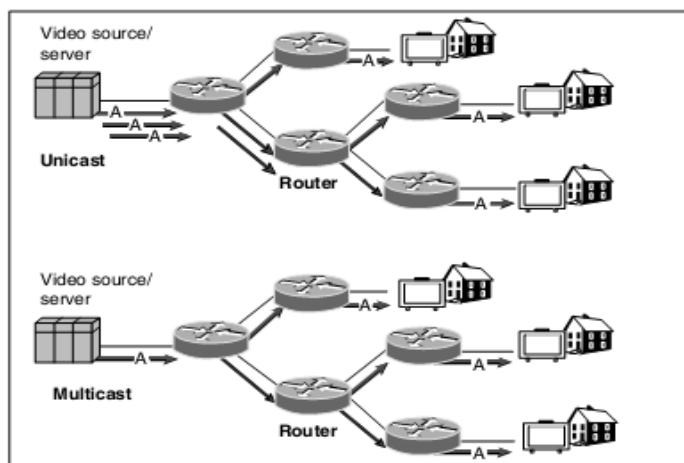
### 2.2.4.1 Unicast

Jedná se o přímé vysílání, kdy je přenos dat, od serveru ke koncovému uživateli, navíc iniciován serverem. Data jsou odeslána pouze jednomu uživateli, komunikují tedy pouze dvě stanice. Tato metoda však nevyužívá efektivně kapacitu sítě, jelikož server musí vysílat tolik streamů, kolik je uživatelů v síti. Unicast je tedy v IPTV použit pouze u VoD, kde dochází k vysílání pouze jednoho konkrétního datového streamu směrem k jedinému uživateli. [8]

### 2.2.4.2 Multicast

Definuje komunikaci, která probíhá mezi více stanicemi. Server tedy vysílá data, určená neznámému, potenciálně velkému počtu uživatelů (skupině) pouze jednou a veškerá režie spojená s distribucí je ponechána na směrovačích (routerech). Cesta od serveru ke koncovému uživateli může obsahovat velké množství směrovačů, mezi nimi se data přenáší pomocí multicastového směrovacího protokolu PIM (popsán v kapitole 2.2.3.5). Inicializace multicastového datového toku je provedena samotným uživatelem, který musí být takzvaně přihlášen k multicastové skupině. Každá skupina je identifikována speciální třídou IP adres, zahrnující adresy z množiny 224.0.0.0 až 239.255.255.255.

Server neodesílá datový stream zvlášť každému uživateli, ale do sítě je streamován pouze jeden datový stream pro všechny uživatele, čím značně snižuje zátěž stream serverů. Nevýhodou je však fakt, že stejný datový tok protéká síťovými prvky, ať jej přijímá například 10 uživatelů nebo jej nepřijímá žádný uživatel. Každý TV program představuje jednu multicast skupinu, a konkrétní uživatelé jsou členy vždy jedné z dostupných multicast skupin. Přepnutím mezi programy realizujeme odhlášení z jedné multicast skupiny, a přihlášení do jiné. Vše je podmíněno protokolem IGMP verze 2, který obsahuje zprávy pro odhlášení/přihlášení z/do multicast skupiny. Jestliže je přijímána žádost o odhlášení/ přihlášení z/do multicast skupiny, kontroluje se, zda je koncový uživatel oprávněn sledovat nový televizní program. Pakliže ano, dojde k přidání specifického uživatele do seznamu kanálové distribuce. [8]



Obrázek 2.9 Znáznornění Unicast a Multicast komunikace [8]



---

### 2.2.5 Komprese dat v IPTV

Komprese dat umožňuje zmenšit datový tok nebo velikost datových souborů do takové míry, aby bylo možné data přenést po síti s omezenou rychlostí. K redukci dat se využívají vhodné kompresní algoritmy, které z datových souborů odstraňují redundantní nebo-li nadbytečné informace. Míra komprese dat je dána kompresním poměrem, který uvádí podíl velikosti původních dat ku velikosti komprimovaných dat a závisí na volbě kompresního algoritmu a typu komprimovaných dat.

Komprese dat lze rozdělit do dvou základních kategorií:

- Ztrátová komprese - Při této kompresi jsou některé informace nenávratně ztraceny a nelze je tedy zpět zrekonstruovat. Používá se zpravidla tam, kde je možné ztrátu některých informací tolerovat, jako například u komprese zvuku a obrazu, při jejichž vnímání si člověk chybějících údajů nevšimne.

- Beztrátová komprese - Na rozdíl od předchozí komprese, lze u této komprese všechny informace zpětně zrekonstruovat. Využívají se tam, kde by ztráta i jediného znaku mohla znamenat nenávratné poškození souboru. Kompresní poměr. Nejvíce používanými kompresemi v technologii IPTV jsou ztrátové komprese MPEG-2, MPEG-4 AVC a VC-1. [10]

#### 2.2.5.1 MPEG-2

MPEG-2 je ztrátová komprese dat, která slouží ke snížení datového toku a tím i velikosti výsledného souboru při co nejmenším viditelném zhoršení kvality multimediálních dat. V současné době se kódování datového signálu ve standardu MPEG-2 nevyužívá pouze pro ukládání a přenos videa na DVD, ale také pro distribuci satelitního (DVB-S), kabelového (DVB-C) a pozemního (DVB-T) digitálního televizního vysílání. Drtivá většina přijímacích zařízení nebo-li set-top-boxů pro digitální televizní vysílání nabízených v České republice a státech Evropské unie umožňuje zpracovat datový signál právě v tomto standardu. Standard MPEG-2 je založen na definování syntaxe přenášeného bitového toku a vlastností dekodéru. Vlastnosti kodéru nejsou jednoznačně definovány a konkrétní řešení je ponecháno na výrobcích.

Nejdůležitější vlastností kódování MPEG je jeho pružnost a otevřenost. Jeho obrazová kvalita se za dobu jeho existence výrazně zlepšila. Přes všechna vylepšení jsou kompresní možnosti algoritmů a datových struktur formátu MPEG-2 přeci jen omezené. [10]

#### 2.2.5.2 MPEG-4 AVC

Se zaváděním nových technologií typu HDTV vznikla potřeba vytvořit lepší kódovací nástroj, poskytující dobrou kvalitu obrazu a zvuku při podstatně nižším datovém toku než jak tomu je u standardu MPEG-2. Spojením skupin ISO MPEG a ITU-T VCEG vznikla skupina Joint Video Team, která vytvořila nový standard s oficiálním názvem Advanced Video Coding (AVC). Ve skupině ISO

---

MPEG se standard nazývá ISO MPEG-4 a ve skupině ITU-T VCEG se nazývá H.264, proto je možné tento standard naléznout i pod těmito názvy.

Jednou z hlavních výhod standardu MPEG-4 AVC je přibližně asi třikrát vyšší komprese dat než v případě použití standardu MPEG-2. Poskytuje mnohem větší flexibilitu pro aplikaci na síťových zařízeních. Díky velkému počtu kódovacích algoritmů dosahuje kvality, která už je pro standard MPEG-2 nedostupná. Kódování i dekódování MPEG-4 AVC vyžaduje výrazně více výpočetního výkonu než MPEG-2 a má jakožto nový kodek k dispozici poměrně malý počet nástrojů. Na druhou stranu nabízí standardní postprocessing videa, například tzv. deblocking filtr, který se umí postarat o většinu obrazových kazů způsobených kódováním. [10]

#### 2.2.5.3 VC-1

VC-1 je obrazový a zvukový standard firmy Microsoft. Používá se nejen pro kompresi videa na Blu-ray a HD-DVD discích, ale také k distribuci multimediálních dat po Internetu. Standard VC-1 jako takový je přímým konkurentem MPEG-4 AVC. Oproti standardu MPEG-4 AVC umožňuje nižší náročnost dekomprese, avšak na druhou stranu má nižší kvalitu obrazu.

VC-1 podporuje tři různé profily:

- Simple (jednoduchý),
- Main (hlavní)
- Advanced (pokročilý).

Krom tří profilů, uvedených v předešlém odstavci, zahrnuje VC-1 ještě ASF formát. Tento formát představuje rozšiřitelný formát souboru pro ukládání a distribuci synchronizovaných multimediálních dat. Podporuje přenos dat prostřednictvím řady sítí a protokolů. Soubory ASF obsahující zvuk i video bývají zkomprimované řadou kodeků. V současné době existují dvě implementace standardu VC-1. První je poměrně starý, ale přece jen známý kodek WMV3, který implementuje pouze Main profil standardu VC-1. Instaluje se spolu s přehrávačem Windows Media Player 9, a proto se mu někdy říká také WMV9. Novější a již kompletní implementací VC-1 je kodek WVC1 dodávaný s Windows Media Player 11. Při používání VC-1 komprese je nutné se vypořádat licenčně s několika patenty, které na tento formát vlastní především konkurenční skupina MPEG. [10]

## 2.3 Distribuce TV signálu v optických přístupových sítích pomocí RFoG

RF over Glass ( RFoG ) je novým standardem, který je vyvíjen organizací SCTE. Modernizace sítě na bázi RFoG poskytuje, provozovatelům kabelových sítí, cenově výhodné řešení, pro migraci z HFC na FTTP / FTTH architekturu. Poskytuje operátorům velkou konkurenční výhodu, tedy fakt, že jsou schopni nabídnout obousměrné, širokopásmové služby pro stávající zákazníky, a

---

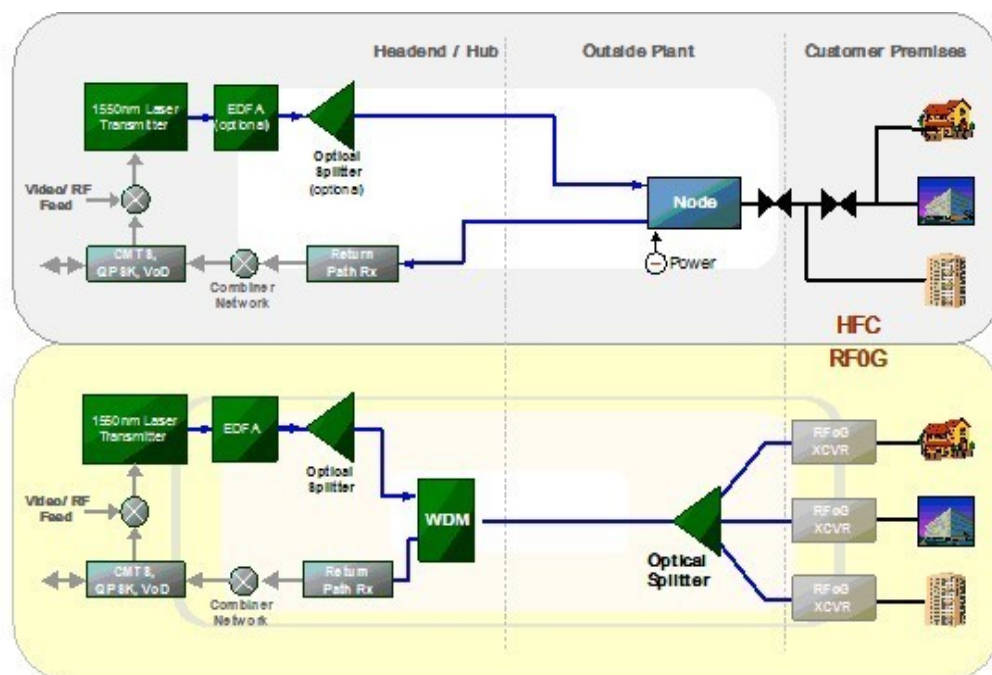
také nad původní head-end/CMTS/OSS/BSS infrastrukturou, prostřednictvím vláken / PON distribuční sítě. RFoG je nízkonákladovým řešením optimalizace síťové infrastruktury. [23], [24]

### 2.3.1 Nasazení technologie RFoG

O této technologii můžeme uvažovat také jako o jedné z variant přístupové architektury PON/FTTH, umožňující zvláště snadnou integraci s technologiemi používanými v televizních kabelových sítích HFC - s ohledem na jednotné prostředí OSS pro datové služby, telefonování a televizi.

RFoG je hustá vláknová síť, ve které je koaxiální část HFC sítě nahrazena pasivní optickou vláknovou architekturou. Od RFoG sítě je postupně možný přechod na architektury jako GPON a GEAPON. Tuto technologii je možno také uznat za nástupce technologie xWDM, ve které jsou navrženy konkrétní vlnové délky, na kterých budou služby poskytovány. Ve srovnání se sítí HFC, síť RFoG nabízí využití pasivní optické sítě založené na jednom optickém vlákne. Přenos sestupný i vzestupný (downstream i upstream) se provádí na dvou různých vlnových délkách, k účastníkovi 1550 nm a od účastníka 1310 nm nebo 1590 nm. Použití vlnové délky 1590 nm umožňuje RFoG podporovat systém PON, který se zakládá na délkách 1490 nm při přenosu ve směru downstream nebo 1310 nm ve směru upstream.

V sestupném směru, jsou služby vysílány prostřednictvím RFoG sítě, podobně jako v tradiční HFC síti. Ve vzestupném směru je všechno jinak, RFoG vysílače pracují v "burst režimu". CMTS se stará o kontrolu nad kabelovým modemem přesně jako u HFC sítě, umožňuje pouze jeden přenos v daném okamžiku. Ve skutečnosti CPE jednotka řídí, kdy bude RFoG zařízení vysílat. RFoG přijímač detekuje RF přenos z CPE a okamžitě zapne reverse path laser. Když se RF od CPE zastaví, zase laser vypne. Kolizi, v případě, že by byly oba lasery v zapnutém stavu, nedojde, jelikož lasery jsou velmi citlivé. Při použití standardního děliče, může až 32 vysílačů sdílet společnou cestu k přijímači. Obrázek 2.10 znázorňuje rozdíly mezi sítí HFC a sítí RFoG. [23], [24]



Obrázek 2.10 porovnání RFOG se starší technologií HFC[24]

Jednou z nejdůležitějších funkcí sítě RFOG je to, že je kompatibilní s existujícími sítěmi RF/DOCSIS/HFC. RFOG sítě pracují na stejných [4]:

- CPE-Set-tops, kabelových modemech
- systémech OSS/BSS
- hlavních stanicích

RFOG dodává stejné služby jako síť RF/DOCSIS/HFC s tím rozdílem, že dochází k omezení šumů se zvětšením užívaného pásma RF v obou směrech přenosu. RFOG i HFC mohou pracovat současně se stejnou hlavní stanicí. To způsobuje, že RFOG může být ideálním řešením pro zvětšování možností sítě. [4]

### 2.3.2 Výhody RFOG

- zvětšení pásma přenosu k účastníkovi na více než 1 GHz, což způsobuje, že poskytovatel může zvětšit množství dodávaných účastnických služeb,
- rozšíření rozsahu přenosového pásma pro přenos od účastníka (5-42 MHz), díky vylepšeným šumovým charakteristikám, umožňuje, aby zpětné spektrum signálu bylo použito pro datové přenosy. Navíc, lepší RF PON systémy podporují nejen DOCSIS 3.0 s technikou bonding, ale také mají velice nízkou prahovou hodnotu šumu a umožňují tedy 64 - QAM modulace, ve vzestupném směru a dramaticky zvyšují šířku pásma pro tento směr.

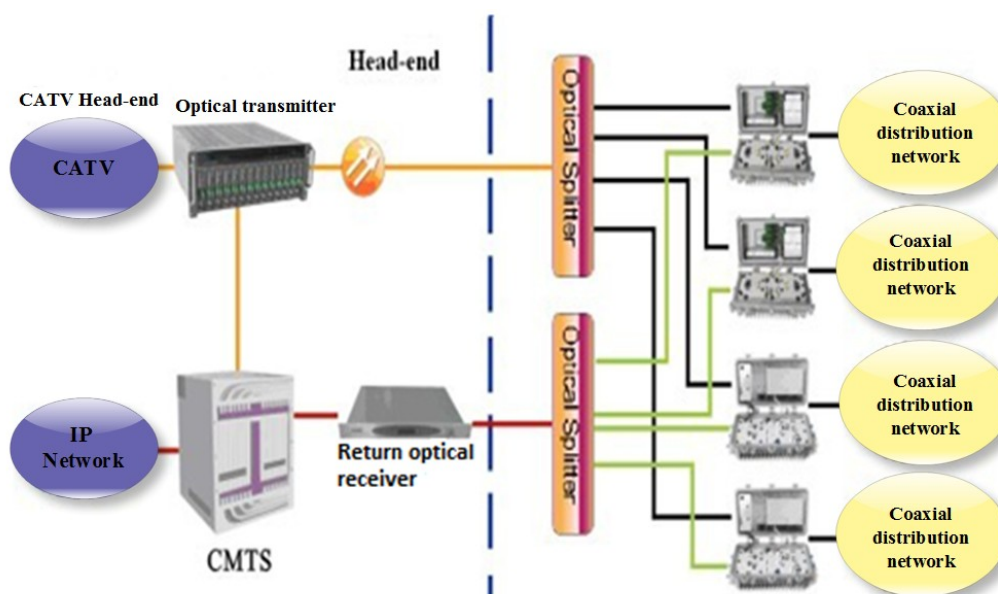
- minimalizace množství síťových prvků s napájením a zesilovačů. Díky tomu se zmenšují šumy v závislosti na konkrétním řešení
- menší údržba, jelikož síťové infrastruktury PON, a síť RF PON neobsahují aktivní elektroniku, jako jsou uzly a zesilovače mezi head - end a koncovým účastníkem. AC napájení, záložní baterie, nouzové generátory a všechny přidružené napájecí uzly, jsou eliminovány. Pro RF PON FTTH aplikace, RF PON vysílače jsou napájeni ze sítě účastníka. Volitelné záložní jsou velice levnou záležitostí.
- spotřeba vláken ve srovnání s HFC sítěmi, je výrazně nižší. Snížili se nejen náklady na vlákna, ale i náklady na jejich pokládku, je zde fundamentálně řešen problém s rozšiřováním stávající topologie v místech, kde je problémové tažení vláken (úzké potrubí).

### 2.3.3 Typy sítí RFoG

Podle [4], [23], rozlišujeme tyto typy RFoG sítí:

#### 2.3.3.1 Sít' RFoG bez uzlu

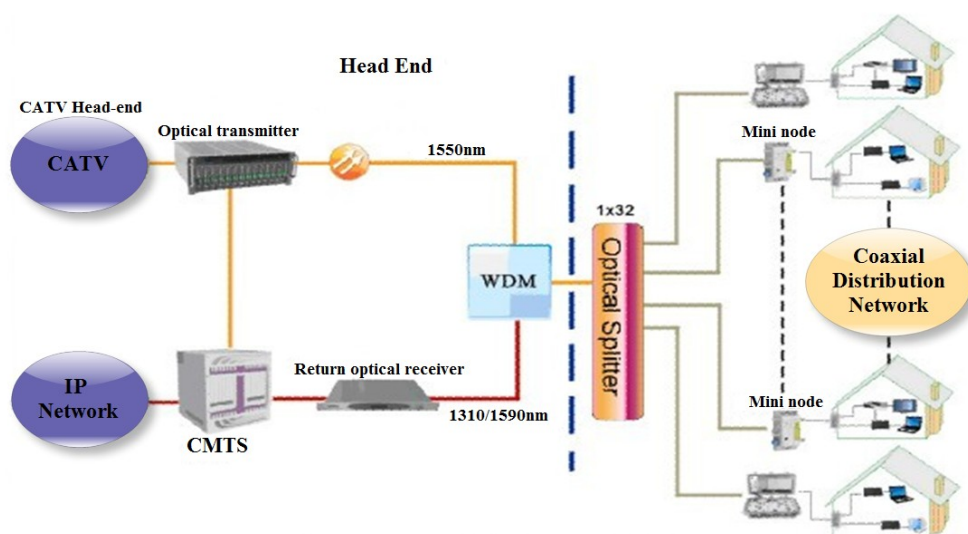
- využívá přenos přímo z WDM,
- dosah do 20 km od Head-End
- do 32 účastníků na jedno vlákno (25 dB optického rozsahu)



Obrázek 2.11 Architektura sítě RFoG bez uzlu [23]

#### 2.3.3.2 RFoG s doplňkovým uzlem

- dosah do 40 km od HE
- do 32 účastníků na jedno vlákno z optického uzlu (18 dB optického rozsahu)
- do 256 účastníků obsluhovaných z optického uzlu zasílaného jedním vláknem z HE

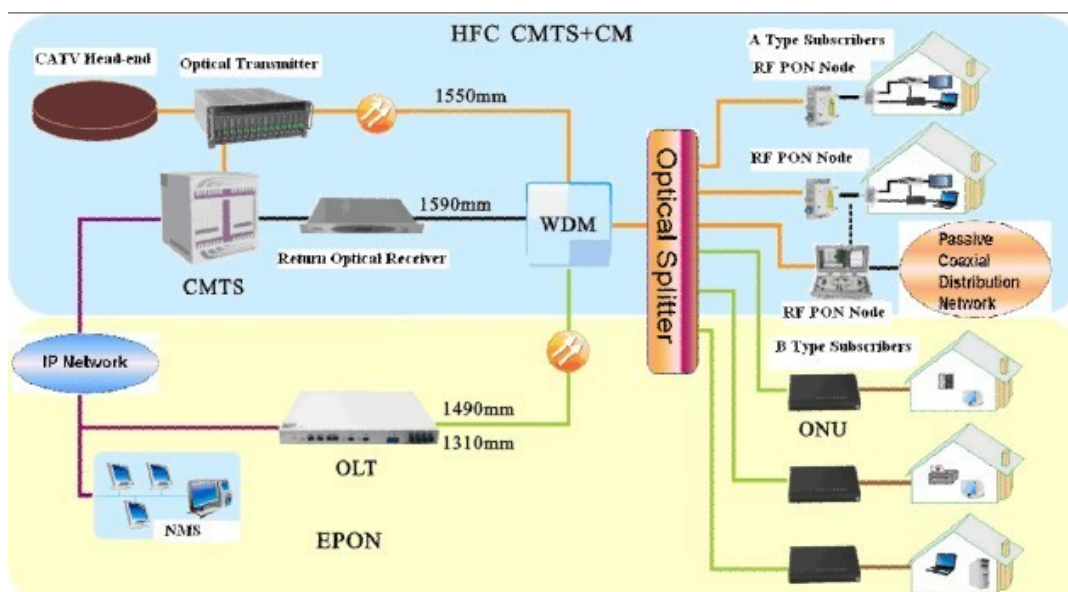


Obrázek 2.12 Architektura sítě RFoG s doplňkovým uzlem[23]

Pracuje-li duální vlákno v obousměrném vysílacím modu, trunk optické spojení, využívá dvě optická vlákna - každé pro jeden směr. V přístupové síti můžeme za trunk vlákno připojit až 32 "Burst mode" RF PON node jednotek, zatím v Head-end/Hub potřebujeme pouze jeden RF PON optický přijímač, pro zpětný směr. Tento typ architektury znázorňuje Obrázek 2.11.

Obrázek 2.12 ukazuje naopak, že díky WDM technologii, v optickém trunku, budeme potřebovat pouze jedno optické vlákno. Výkon a aplikace jsou stejné jako u prvního typu. Síť RFoG dovolují jednoduchý přechod ze sítě HFC na síť GPON postupným přidáváním zařízení a dávají větší šance na další rozvoj sítě. Nevýhodou těchto sítí je stále poměrně vysoká cena. [23]

#### 2.3.4 Hybrid RF PON + XPON

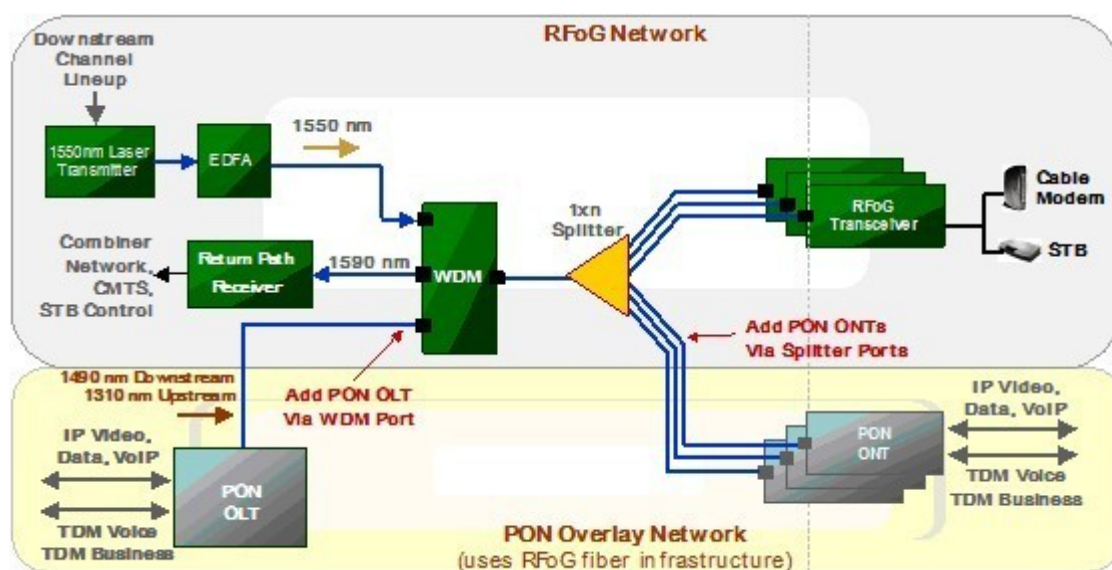


Obrázek 2.13 Znárodnění architektury Hybrid RF PON [23]

Pokud kabeloví operátoři chtějí zkombinovat starou HFC síť společně s EPON na stejné vláknové architektuře, je možno využít architekturu, kterou popisuje Obrázek 2.13, k dosažení vyšší pružnosti sítě. Pro ty účastníky, kteří vyžadují pouze tradiční HFC služby (typ A), zákaznické terminály, včetně STB set-top boxů (obrazový příjem RF vysílání, VoD, atd.), kabelových modemů (DOCSIS vysokorychlostní přístup k datům a VoIP), používáme WDM technologii v jednom vlákně, a vlnovou délku 1550nm pro sestupný směr a 1590 nm pro vzestupný směr. U typu B předplatitelů, kteří požadují vysokorychlostní IP aplikace, musíme nasadit xPON (GPON, EPON) síť pro splnění potřeb tohoto druhu, kombinují se síť WDM HFC a XPON. xPON síť používají 1490 nm pro downstream a 1310 nm pro upstream. Čtyři různé optické vlnové délky jsou multiplexovány na do jednoho vlákna. Kombinací technologie RF PON spolu s xPon, kabeloví operátoři mohou poskytovat všechny tradiční HFC služby a řadu vysokorychlostních komunikačních služeb společně. [23]

### 2.3.5 Porovnání RFoG a PON

Technologie RFoG je podporou pro existující technologie přenosu. Optické vlákno využitě v této technologii je stejné, jako v případě jiných pasivních sítí PON. Využití stejného optického vedení umožňuje dodání více rozvinutých služeb s gigabitovou šířkou pásma včetně doplňkové možnosti využití ethernetové sítě. Následující Obrázek 2.14 znázorňuje přidání sítě PON do RFoG.



Obrázek 2.14 porovnání překryvné PON sítě a sítě RFoG [24]

Tabulka 2.1 přehledně vystihuje porovnání RFoG s GPON a bez GPON. Síť GPON pracuje s ATM buňkami. [24]



Tabulka 2.1: Tabulka porovnání obou sítí

	<b>GPON s RFoG</b>	<b>RFoG bez GPON</b>
<b>Výhody</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Optika k účastníkovi</li> <li>• Velká šířka pásma (UP, DOWN)</li> <li>• Velké množství služeb včetně možnosti dalšího rozvoje</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Optika k účastníkovi</li> <li>• nevýznamné změny v porovnání s infrastrukturou HFC</li> <li>• Možnost přechodu na architekturu GPON</li> </ul>
<b>Nevýhody</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• změna existující sítě HFC</li> <li>• vysoká cena</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• nedostatek doplňkových služeb v porovnání s HFC</li> <li>• ceny srovnatelné s GPON</li> </ul>

## 2.4 Distribuce TV signálu v optických přístupových sítích pomocí RF video overlay

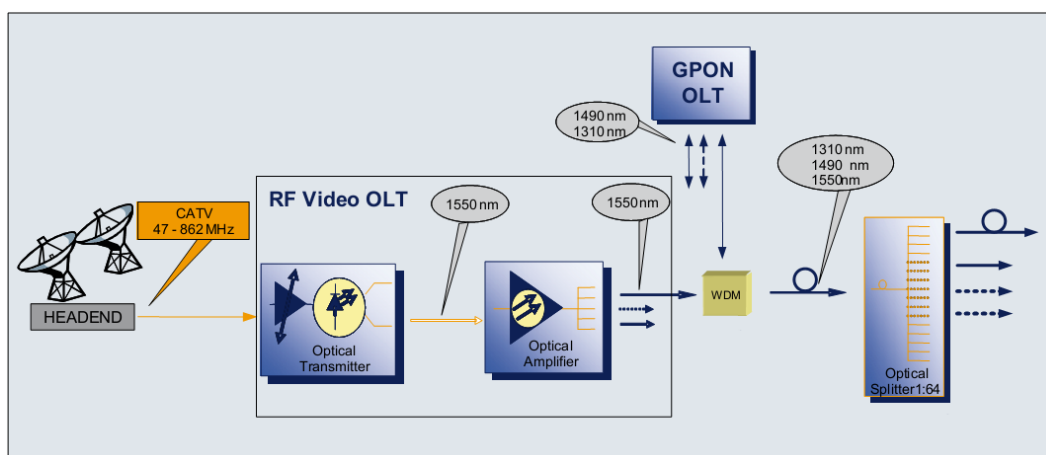
RF video overlay je technologie pro přenos videa, která poskytuje několik výhod provozovatelům a zákazníkům. V současné době je realizována na PON sítích a překvapivě, přidává jen malé přírůstkové náklady na potřebné infrastruktury. Tato technologie má velký potenciál, a jeho potenciál pro zavedení možností otevřeného přístupu do sítí nové generace.

Nízký útlum optických signálů v optickém vlákne umožňuje realizaci pasivní venkovní infrastruktury bez potřeby pro napájení a chlazení, a tak razantně snižuje celkové provozní náklady těchto technologií, nazývaných jako PON (Pasivní optické sítě). Nové výstavby telekomunikačních sítí využívají tuto technologii, na rozdíl od čistě měděných kabelů nebo hybridních technologií, jako je vlákno / metalika, kde optická vlákna jsou rozmístěna v trunk sítích, ale za použití metalických kabelů v koncových částech sítí.

V dnešní době jsou v PON sítích využívány hlavně tři přenosové protokoly: GPON, GPON a EP2P. Každý z těchto protokolů je sám sobě příznivcem, a tou nejlepší volbou, avšak závod není ani zdaleka u konce. Zatímco v současné době jsou GPON a GPON široce používány v Severní Americe a Asii, EP2P je jasnou volbou ve většině zemí Evropy.

Hlavním rozdíly mezi nimi jsou, že GPON a GPON jsou sdílené síťové přístupy ( point - to - multipoint, nebo P2MP ), zatímco EP2P je přímé spojení ( point-to -point ). Tento přístup vyžaduje velký počet optických propojení v center office systému ( CO ), ale na druhou stranu poskytuje výhodu, že každý účastník může trvale získat plnou přenosovou kapacitu, zatímco pomocí optických rozbočovačů GPON a GPON můžeme výrazně snížit počet vláken potřebných v CO. Přenosová kapacita musí však být sdílena mezi účastníky, připojenými na optických rozbočovačích.



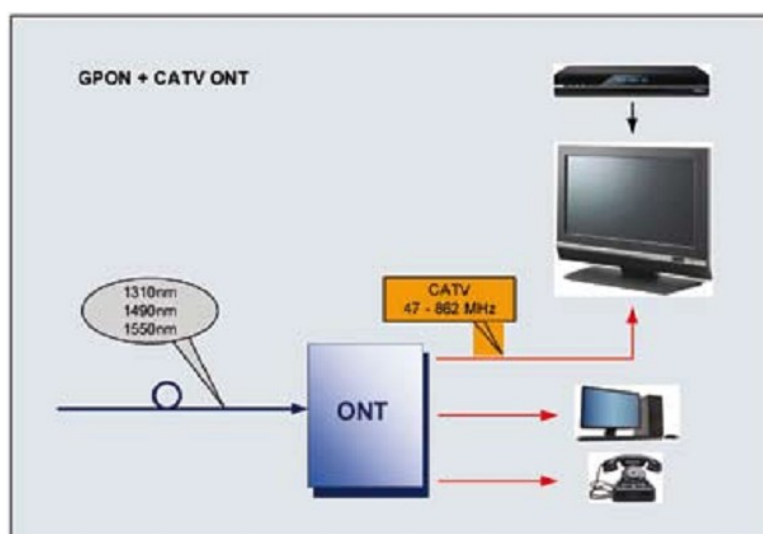


Obrázek 2.15 Nasazení RF video overlay v GPON [25]

Obrázek 2.15 ukazuje blokové schéma head-end zařízení v GPON s RF video overlay řešením: optické signály z RF video OLT a GPON OLT jsou kombinovány technologií WDM před tím, než dorazí na PON splitter v diagramu. Vstupní video signál na jednotce video OLT je v tomto příkladu standardní CATV signál.

Společné pro všechny tyto tři technologie je to, že přenosové vybavení zprostředkovává Ethernet rozhraní na vstupu i výstupu (OLT i ONT), a tudíž je ideální pro IP datové přenosy, buď telefonii (VoIP), data (IP), nebo video služby (IPTV). GPON a GPON jsou standardizovány na vlnových délkách 1490 nm downlink a 1310 nm pro uplink. EPON systémy, v mnoha případech, umožňují použít stejné vlnové délky.

Okno vlnových délek 1550 - 1560 nm bylo vyhrazeno výhradně pro RF Video overlay systémy. Tyto systémy jsou navrženy pro video vysílání, na rozdíl od unicast nebo multicast přenosu IP videa, které se používají pro video na vyžádání nebo IPTV.



Obrázek 2.16 Funkce ONT jednotky v RF video overlay systému [25]

---

Obrázek 2.16 znázorňuje jednoduchý příklad GPON ONT, který zahrnuje optický přijímač pro RF video overlay. Tři optické vlnové délky v optickém vlákne jsou spojeny nebo odděleny v triplexoru jednotky ONT.

V dnešních HFC sítích, tvoří zákaznické účty pro vysílání videa více než 90 % video přenosů, přijímaných účastníky. Zřejmý důvod, proč používat video overlay systém na vrcholu IP přenosového systému je oddělení broadcast provozu od IP přenosů a využití dostupné kapacity IP přenosové soustavy pouze pro skutečné unicast služby, jako je například telefonování, internet a video na vyžádání. Velikou výhodou technologie video overlay je, že znatelně redukuje požadavky na výkon a kapacitu IP páteřní sítě.

Video služby, jako služby v reálném čase mají velmi vysoké požadavky na latenci sítě a obvykle vyžadují vysokou kvalitu úrovně služeb a vynikající buffering IP paketů v rámci celé sítě, aby se zabránilo poruchám v příjmu, jako je zamrznání obrazu. Bohužel, video služby také mají tendenci neustále zvyšovat své nároky na přenos. Budoucnost s 3D TV již klepe na dveře a příští generace VHDTV (3840x2160 pixelů) a UHD TV (7680x4320), je již definována jako budoucí standard, a počítá se tedy ještě s mnohem vyššími přenosovými rychlostmi. Jedná se o vážnou výzvu, pro poskytování vysílání video služeb, pomocí video overlay systému, na PON infrastruktuře. [25]

---

## 3 Zprovoznění IP TV streamu v lokální síti za použití DVB-T

Pro vysílání TV signálu do optické přístupové sítě budu využívat IP TV stream server ITS-DVB2IP-S2T2M2, společnosti ASM. Zprovoznění stream-serveru bylo realizováno v lokální počítačové síti. Konfigurace stream-serveru je uživatelsky příjemná díky předpřipraveným skriptům, umožňujícím přehledné ovládání jednotlivých streamů. Musíme si však dát pozor na nastavení jednotlivých portů DVB-T karty, kterou je přístroj osazen. Jejich záměna způsobuje nefunkčnost streamování. Zmiňuji zde proto, nastavení přístroje pro správnou funkčnost krok po kroku.

### 3.1 Specifikace použitého IP TV Stream serveru

#### 3.1.1 Operační systém:

Mnou používaný stream - server společnosti ASM běží na OS Linux, konkrétně na verzi Debian 6.0.3. Systém se jeví jako velice stabilní a vhodný pro streamování videa. OS je doplněn o příslušné skripty, řídící streamování. [26]

#### 3.1.2 Možnosti nastavení:

Veškerá nastavení podporovaná v systémech vysílání IPTV v systémech Linux, především pak aplikace DVBlast, která je primárně podporována. Systém je open-source a je dodán včetně zdrojových kódů použitých v systému. [26]

#### 3.1.3 Maximální počet vysílaných streamů:

Ve všech variantách je omezení dáno pouze existencí počtu existujících streamů na transpondéru DVB-S/S2 nebo multiplexu DVB-T. Druhým teoretickým omezením je pak kapacita síťového rozhraní 1Gbit/s. Procesor systému jsou navrženy vždy s dostatečnou kapacitou na specifikované počty transpondérů/multiplexů. Je možné i užití softwarového dekodování placených kanálů dodatečnými open-source aplikacemi. Kanály dekodované pomocí CAM nezatěžují CPU. Brány vždy podporují IGMP. Vzdálený management možný všemi způsoby podporovanými systémy Linux, primárně povolen SSH. [26]

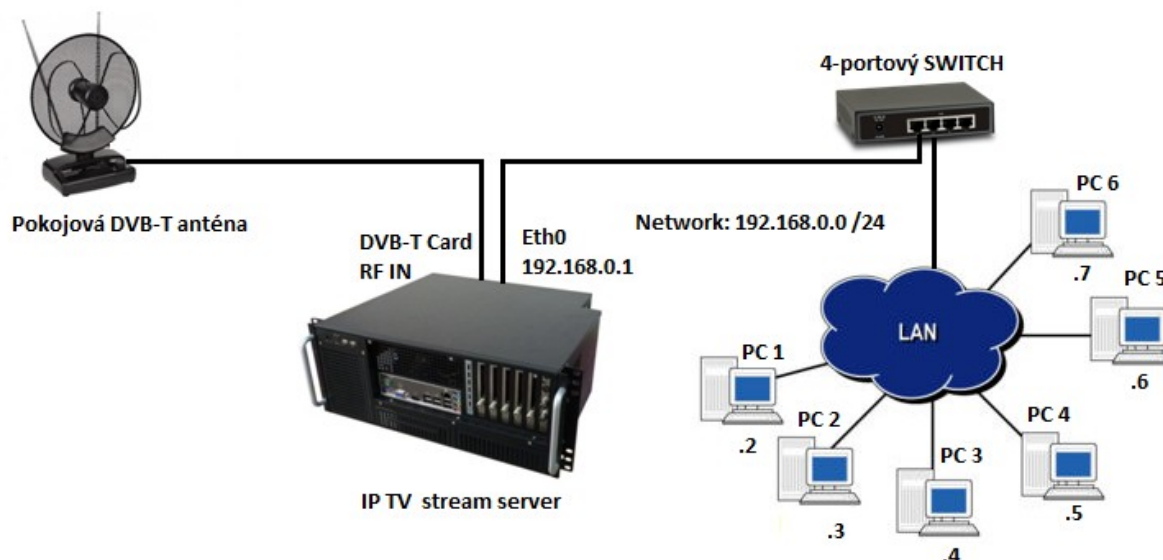
#### 3.1.4 Hardware

Sestava je navržena jako minimální pro užití v ČR. Příjem dvou DVB-T/T2 multiplexech a dvou DVB-S/S2 placených satelitních kanálech připravených i na nejnovější systémy kódování. Oba DVB-S/S2 transpondéry může dekodovat pomocí CAM který pro jím placený systém používá. Systém byl rozšířen o další síťové rozhraní pro předpokládané účely testování ve více segmentech. [26]

---

## 3.2 Konfigurace IP TV Stream serveru pro DVB-T stream

### 3.2.1 Schéma zapojení pro distribuci DVB-T signálu LAN sítí



Obrázek 3.1: Schéma zapojení pro distribuci DVB-T LAN sítí

Anténní kabel je zakončen F konektorem (samec), který připojujeme na vstup DVB-T karty streameru (samice). Velice důležité pro správné zachytávání obrazového signálu DVB-T kartou je co nejlepší kvalita příjmu, proto je nutné tomuto aspektu přizpůsobit pozici antény vzhledem k vysílači. Signál budeme streamovat na portu Eth0 (integrováný na základní desce), propojení s portem SWITCHE je provedeno pomocí přímého UTP kabelu. Je zde k dispozici rozšiřující síťová karta, jejíž port je v systému detekován jako Eth1, pro naše potřeby není nutná, necháme tedy nezapojeno. Adresní konfigurace, ve schématu, kterou ukazuje Obrázek 3.1, je pouze příkladová, IP adresace se bude odvíjet dle konkrétního zapojení a sítě.

### 3.2.2 Konfigurace systému

Po realizaci zapojení, které uvádí Obrázek 3.1, je nutno zapnout IP TV streamer přepínačem na zdroji, který se nachází na zadní straně stream serveru. Systém je po nabootování připraven pro okamžité použití. Je nutné pouze nastavení pár nezbytných parametrů pro příjem DVB-T signálu, dle lokality a své sítě.

#### 3.2.2.1 Potřebné informace pro práci v systému:

Pro přihlášení do systému použijeme tyto přihlašovací údaje [26]:

**login: vsb**

**heslo: iptv**

---

Pro modifikaci parametrů doporučujeme používat **Root Terminal** který naleznete v **Applications -> Accessories**. K dispozici je v systému také souborový manažer *mc* (*midnight commander*). Příkazem "su" se v terminálu také přepneme pod uživatele *root*, heslo je taktéž "**iptv**"

### 3.2.2.2 *Nastavení IP adresy na rozhraní*

Konfigurace IP adres rozhraní je proveditelná buďto v souboru **/etc/network/interfaces**, jehož editací (například aplikací nano) provedeme nastavení všech parametrů síťového rozhraní.

Jednodušší variantou je nastavení v GUI, do něhož se dostaneme přes hlavní panel v záložce **systém -> síťová zařízení**. Správnost konfigurace můžeme ověřit jednoduše, v terminálu příkazem "**ifconfig eth0**", zde je ukázkový výpis:

```
vsb@iptv:~$ su
Heslo:
root@iptv:/home/vsb# ifconfig eth0
eth0      Link encap:Ethernet  HWaddr 00:25:22:c9:2d:c4
          inet addr:192.168.0.1      Bcast:255.255.255.255  Mask:255.255.255.0
          inet6 addr: fe80::225:22ff:fec9:2dc4/64 Scope:Link
          UP BROADCAST RUNNING MULTICAST  MTU:1500  Metric:1
          RX packets:301 errors:0 dropped:0 overruns:0 frame:0
          TX packets:4324909 errors:0 dropped:0 overruns:0 carrier:0
          collisions:0 txqueuelen:1000
          RX bytes:32891 (32.1 KiB)  TX bytes:1629203701 (1.5 GiB)
          Interrupt:44 Base address:0xe000

root@iptv:/home/vsb#
```

Obrázek 3.2: Výpis konfigurace rozhraní "eth0" v terminálu

Obrázek 3.2 zobrazuje výpis konfigurace broadcastového vysílání, nutného pro stream televizního signálu do LAN sítě. Všechno je již továrně přednastaveno, nastavením broadcastového vysílání se tedy nemusíme zabývat.

### 3.2.2.3 *Nastavení kmitočtů pro příjem DVB-T dle lokality*

Toto nastavení je realizováno v následujících souborech jejich editací, tak nastavíme veškeré potřebné parametry DVB-T příjmu [26].

- /iptv/stream-1-dvbt
- /iptv/stream-2-dvbt

Pro naše nastavení použijeme pouze konfigurační soubor "**stream-1-dvbt**". Nastavení je realizováno podle parametrů, které definuje Tabulka 3.1, platných kmitočtů na území Ostravy, tedy v našem případě pro kmitočet 738 MHz (ČT1, ČT2, ČT4, ČT24), Případně 602 MHz (NOVA, PRIMA...). Ostatní parametry (např. typ modulace QAM 64), jsou již v souboru přednastaveny a není třeba je měnit.

Tabulka 3.1: Vysílací kmitočty na území Ostravy [26]

ČT 1	738 MHz	Mux1	8 MHz, 8K, guard 1/4, 2/3, 64 QAM
ČT 2			
ČT4			
CT 24			
NOVA CINEMA	602 MHz	Mux 2	8 MHz, 8K, guard 1/8, 3/4, 64 QAM
NOVA			
TV BARANDOV			
PRIMA COOL			
PRIMA Family			

Adaptér DVB-T karty, který nám slouží jako vstup pro příjem signálu z antény je v systému detekován jako "a0" v souboru je tedy nutné nastavit jej jako zdroj streamovaného signálu. Konfigurace je znázorněna v příslušném souboru, skriptu, viz. Obrázek 3.3.

```
# Zde nastavit Frekvencni parametry platne v dane lokalite

# Praha
#/iptv/sbin/dvblast -c /iptv/etc/dvbt-1.conf -a 2 -n 0 -f 730000000 -m qam_64 -G 4 -X 8
-C -i 1

# Ostrava
#/iptv/sbin/dvblast -c /iptv/etc/dvbt-1.conf -a 0 -n 0 -f 730000000 -m qam_64 -G 4 -X 8 -
C -i 1

echo Stream spusten|
```

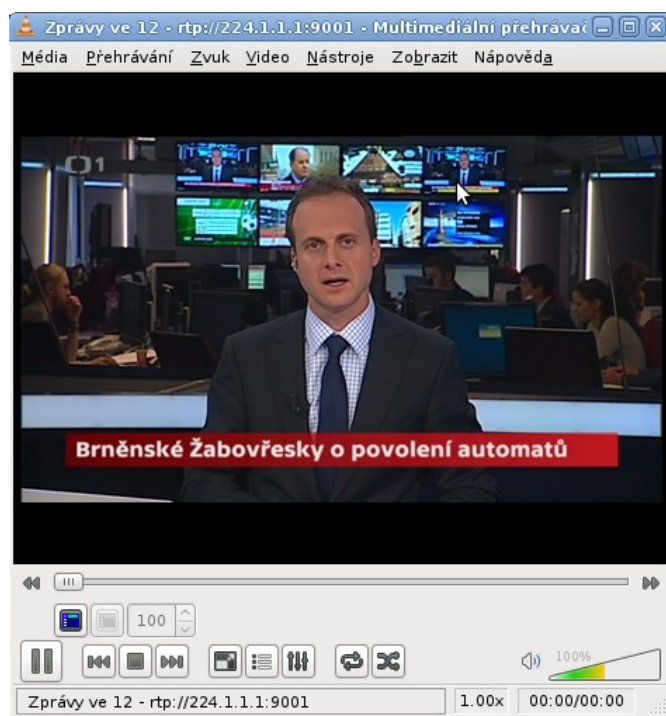
Obrázek 3.3: Výpis z konfiguračního souboru "stream-1-dvbt"

Po dokončení konfigurace provedeme restart všech IP streamů skriptem "restart-all", nacházejícím se v kořenovém adresáři systémového oddílu ve složce pojmenované "iptv". Spuštěním tohoto skriptu dojde k restartování všech streamů a skriptů, spojených s IPTV za použití námi nově nakonfigurovaného nastavení. Druhou možností je provést reboot systému a ověřit si funkčnost správného nastavení IP rozsahů. Streamy jsou po startu spouštěny automaticky.

Správnou konfiguraci následně ověříme například skriptem "stream-1-dvbt", který je umístěn taktéž v adresáři "iptv". Jeho spuštěním v terminálu zavoláme přehrávač VLC Player s předkonfigurovanou multicastovou adresou pro stream ČT1 (224.1.1.1:9001), měli bychom zde vidět kontinuální obrazový výstup (Obrázek 3.4), dle příjmu s naší DVB-T antény, Pokud je obraz trhaný, doladíme příjem správným natočením antény. Pokud tomu tak je můžeme totéž provést z připojeného počítače v síti. V programu VLC zadejte jako zdroj např. **rtp://224.1.1.1:9001** a obdržíte ČT1 stream. V adresáři je umístěno několik testovacích streamů pro jednotlivé kanály, uvedených podle syntaxe "stream-X-dvbt".

Skripty spouštějí aplikaci VLC, typicky [26]:

- VLC `rtp://224.1.1.x:9001` kde "x" je v nastavení 1-9



Obrázek 3.4: Ukázka streamu televizního kanálu ČT1

Multicastové adresy pro jednotlivé DVB-T streamy podporovaných, televizních kanálů, které jsou nakonfigurovány, ukazuje Tabulka 3.2:

Tabulka 3.2: Multicastové IP adresy, přidělené jednotlivým kanálům [26]

ČT 1	224.1.1.1:9001
ČT 2	224.1.1.2:9001
ČT4	224.1.1.3:9001
CT 24	224.1.1.4:9001
NOVA CINEMA	224.1.1.5:9001
NOVA	224.1.1.6:9001
TV BARANDOV	224.1.1.7:9001
PRIMA COOL	224.1.1.8:9001
PRIMA Family	224.1.1.9:9001

Tyto adresy nalezneme v konfiguračních souborech "`dvbt-1.conf`" a "`dvbt-2.conf`", umístěných ve složce "iptv" v podadresáři "etc". Je možná jejich editace, podle konkrétních požadavků.

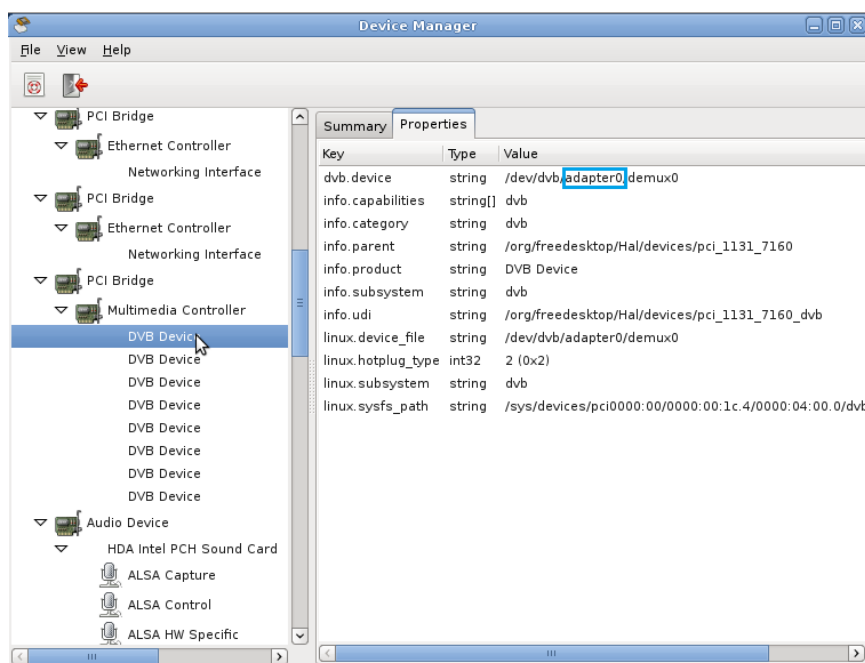
#### 3.2.2.4 Význam jednotlivých skriptů spojených s DVB-T a obecně s IPTV

- `/iptv/restart-all` - Restartuje veškeré skripty spojené s IPTV

- **/iptv/stream-restart-all** - Restartuje pouze skripty streamů
- **/iptv/etc/\***- Obsahuje konfigurační soubory stream párujících SID s multicastovou IP adresou streamu
- **/iptv/qos-metoda-X** - Předkonfigurovány tři různé metody řízení streamu. Spouštění těchto skriptů je nepovinné a vychází z naší zkušenosti při řešení síťových problémů při IPTV streaming.

V případě nejistoty s funkčností anténního systému je možné použít aplikaci Kaffeine která dovolí otestovat ladění kanálů. Naleznete na ploše ve složce Pomocne. Před jejím použitím však nezapomeňte zastavit veškeré streamy pomocí dávky `"/iptv/stream-stop-all"`. Pokud stream stále neběží je třeba se zaměřit na správnost zapojení k dotyčné DVB kartě. [26]

Pokud dojde k přehození DVB-T karty do jiného PCI slotu, změní se také systémová detekce adaptéru pro příjem DVB-T signálu. V tomto případě přestane stream fungovat, je tedy nutné uvést správné číslo adaptéru do konfiguračního souboru realizujícího správné nastavení kmitočtů DVB-T, dle dané lokality. Číslo se může měnit v rozmezí 0 až 3 - (a0 - a3). Tento údaj snadno zjistíme v aplikaci **"Device manager"** (Obrázek 3.5), která se nachází v hlavním systémovém panelu - **"Aplikace"**. V levém panelu rozevřeme lištu se veškerým dostupným systémovým Hardwarem a vybereme **Multimedia Controller -> DVB Device**.



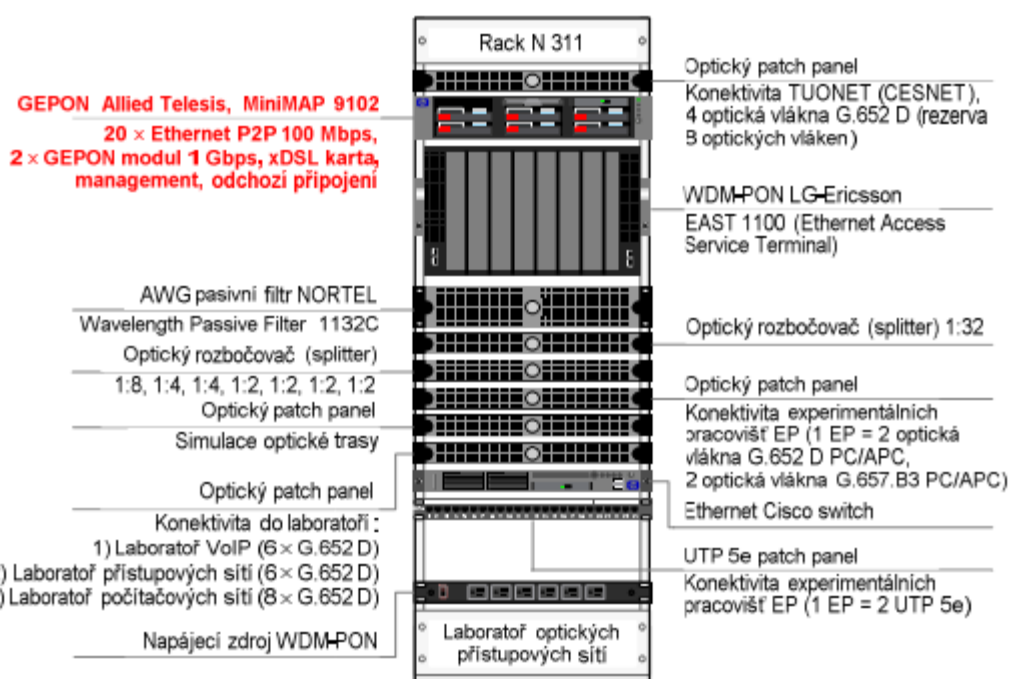
Obrázek 3.5: Device manager v systému Debian



## 4 Výstavba optické přístupové sítě a realizace RFoG vysílání

### 4.1 Popis pracoviště pasivní optické přístupové sítě GEPON

Základní stavební prvek optické pasivní sítě GEPON se nachází ve standardním datovém rozvaděči, který nese označení Rack N 311. Tímto prvkem je centrální jednotka OLT MiniMAP 9102, která je zakoupena od společnosti Allied Telesis. Schematické naznačení rozmístění jednotlivých technologií v datovém rozvaděči přehledně popisuje Obrázek 4.1. Centrální jednotka OLT je obrázku vyznačena červeně.



Obrázek 4.1: Schéma rozmístění jednotlivých prvků v racku N311[2]

#### 4.1.1 Centrální jednotka OLT

Jedná se o plně modulární řešení od firmy Allied Telesis, která je výrobcem vybavení pro pasivní optické sítě. Tato centrální jednotka OLT MiniMAP 9102 je vybavena třemi sloty instalaci a zprovoznění volitelných modulů účastnických rozhraní. Ve čtvrtém slotu se nachází řídicí modul, který zajišťuje lokální i vzdálenou správu centrální jednotky OLT. Je vybaven, jak optickou, tak i metalickou konektivitou pro připojení do lokální sítě. Základní sestavení jednotky OLT znázorňuje Obrázek 4.2 [2]



Obrázek 4.2: Centrální jednotka OLT[2]

---

Jak již bylo zmíněno, toto řešení je plně modulární a je zde mnoho způsobů rozšíření funkčnosti jednotky OLT, či případná migrace na jiné přenosové technologie. Jednotka OLT, která byla použita pro sestavení GEPON sítě obsahuje tyto komponenty [2]:

- modul 20 ' Ethernet P2P 100 Mbps – FX20BX (TN-139-B), maximální dosah 20 km, pro komunikaci v duplexním režimu je užito optické vlákno, zakončeno konektorem LC (PC),
- modul ADSL Annex B – ADSL24B (TN-124-B), modul ADSL vysílající 24 portů Annex B, s maximálním příkonem 48 W. Port RJ21
- Modul GEPON – EPON2 (TN-118-B), GEPON modul (EPON typ 2), vysílající na vlnové délce 1490 nm (výkon 2 dBm) a přijímající na vlnové délce 1310 nm (citlivost -30 dBm). Maximální vzdálenost do 20 km. Maximální příkon 50 W. Modul, s jeho základním rozložením, ukazuje Obrázek 4.3.



Obrázek 4.3: Modul GEPON – EPON2 (TN-118-B) [2]

Allied Telesis EPON, podle [2], nabízí uživateli:

- vrstva 1 RM-OSI: 2 OLT porty, 32 ONU/ONT jednotek na jeden OLT port, 1 Gbps backplane, SFP moduly do vzdálenosti 20 km,
- vrstva 2+ RM-OSI: 4092 VLAN - maximum na jednu ONU/ONT jednotku je 5 Q-VLAN. 4000 MAC na jednu jednotku OLT, směrování na druhé vrstvě RM-OSI, IP multicast s malými limitacemi (IGMP agregace, 512 multicast skupin (80 na jednu ONU/ONT)),
- QoS: 1 CoS na VLAN ve směru ONU/ONT → OLT (upstream).

#### 4.1.2 Koncová jednotka ONU

V Laboratoři optických sítí, kde bylo realizováno experimentální měření je k dispozici 5 experimentálních pracovišť, dále jen EP. Na každém EP se nachází jedna ONU jednotka a je spojeno s centrálním datovým rozvaděčem N311 dvojicí vláken normy ITU-T G.652 D a dvojicí vláken ITU-TG.657.B3. Výstavba sítě pro měření zahrnuje všech 5 ONU jednotek, umístěných na pracovištích EP, pro simulaci zátěže GEPON sítě. Byly použity koncové ONU jednotky typu AT-ON1000, viz. Obrázek 4.4. Samozřejmostí je očištění všech konektorových spojení, realizujících propojení jednotlivých EP do centrálního, datového rozvaděče. [2]

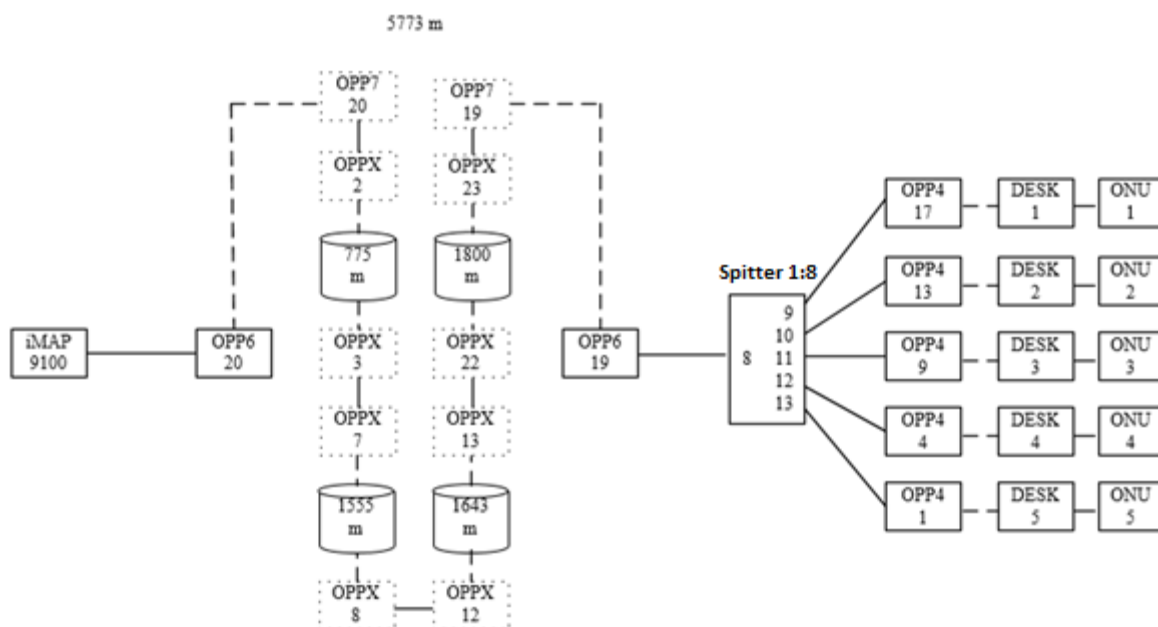


Obrázek 4.4: ONU jednotka AT-ON1000 [2]

Koncová ONU jednotka obsahuje celkem dva porty. Optický port realizuje optické propojení k centrální OLT jednotce prostřednictvím PON sítě (konektor PC), zatímco druhý port RJ-45 zprostředkovává připojení koncové stanice (PC stanice) prostřednictvím UTP kabelu. Signalizační kontrolky, umístěné vlevo od optického vstupu detekují stav připojení jednotky ONU do PON sítě (kontrolka PON), a status registrace ONU u centrální jednotky OLT (kontrolka OLT).

## 4.2 Topologie sestavené GEPON sítě

Pro veškerá měření, prováděná v laboratoři, byla sestavena GEPON síť, dle schématu, které znázorňuje Obrázek 4.5. Následně byla provedena testovací měření pro ověření funkčnosti sestavené topologie. Pro realizaci optické trasy byly použity čtyři cívky s optickými vlákny, o různých délkách, naznačené ve schématu. Celková trasy činí 5773 m.



Obrázek 4.5: Schéma zapojení testované GEPON sítě

## 4.3 Ověření funkčnosti a integrity sestavené GEPON sítě

Pro otestování funkčnosti GEPON sítě, bylo zahájeno kontrolní měření sestavené trasy ve vzestupném i sestupném směru. Tímto měřením se ověřila možnost nasazení RFoG vysílání na takto

sestavenou GEPON síť. Obrázek ukazuje schéma zapojení doplněné o čísla portů jednotlivých prvků v racku. Pro snížení optického výkonu centrální jednotky GEPON OLT byl použit dělič 1:8. Celé měření probíhalo pod odborným dozorem, výsledky byly konzultovány.

Pro měření, jednotlivých charakteristik, sestavené GEPON sítě byly použity následující měřicí přístroje:

- **2 x EXFO AXS 200/350** pro měření útlumových bilancí
- **OTDR meter FHO 5000 - D40** pro měření reflektometrickou metodou
- **Optický spektrální analyzátor EXFO FTB 5240B** pro znázornění optického spektra
- **PON Power meter EXFO PPM 350B** pro měření výkonových úrovní
- **EXFO FTB 860 Netblazer Ethernet tester** pro měření RFC 2544 a EtherSAM

#### 4.3.1 Naměřené útlumové bilance jednotlivých prvků optické trasy

Prvním měřením bylo měření útlumových hodnot jednotlivých prvků, použita byla přímá metoda 1C, která dokáže poskytnout nej přesnější výsledky, ve kterých máme zohledněn útlum vstupního a výstupního konektoru měřeného, optického prvku. Pro měření byla použita dvojice měřících přístrojů EXFO AXS 200/350, přičemž jeden byl zapojen jako zdroj záření a druhý ve funkci detektoru.

Tabulka 4.1: Útlumová bilance splitter 90:10

<b>2 x Splitter 1:2 (90:10), centrální datový rozvaděč</b>					
<b>Porty 7; 8 - 9</b>			<b>Porty 10; 11 - 12</b>		
	<b>7 - 8 [dB]</b>	<b>7 - 9 [dB]</b>		<b>10 - 11 [dB]</b>	<b>10 - 12 [dB]</b>
<b>1310 nm</b>	0,52	10,38	<b>1310 nm</b>	0,54	10,1
<b>1550 nm</b>	0,59	10,41	<b>1550 nm</b>	0,56	10

Tabulka 4.2: Útlumová bilance splitter 1:8

<b>Splitter 1:8, Centrální datový rozvaděč - port 9; 10 - 14</b>					
	<b>9 - 10 [dB]</b>	<b>9 - 11 [dB]</b>	<b>9 - 12 [dB]</b>	<b>9 - 13 [dB]</b>	<b>9 - 14 [dB]</b>
<b>1310 nm</b>	7,58	7,77	8,12	7,45	7,57
<b>1550 nm</b>	7,58	7,61	8,58	7,45	8,1

Výsledky měření na splitteru 90:10 a 1:8 přehledně znázorňuje Tabulka 4.1 a Tabulka 4.2, naměřené hodnoty jsou vzhledem k teoretickým předpokladům odpovídající. Měření splitteru 1:8 bylo prováděno pouze pro prvních 5 výstupů ze splitteru, které obsluhují, v laboratoři, jednotlivá pracoviště EP.

Následující měření bylo provedeno na cívkách s optickými vlákny, které jsou základními stavebními prvky pro realizace optické trasy. Celkem se, pro realizaci optické trasy, jednalo o 5 cívek, přičemž cívka, vyvedená na patch panelu v portech 17 a 18, byla z důvodu vysokého vložného útlumu

konektorových spojení vyřazena. Můžeme vidět, že útlum této cívky s optickým vláknem činí na vlnové délce 1550 nm 3.56 dB, což je hodnota, schopná zanechat velkou chybu měření, viz. Tabulka 4.3.

Tabulka 4.3: Útlumová bilance jednotlivých cívek s optickými vlákny

Cívky s optickými vlákny, centrální datový rozvaděč					
OPP8	Port 2 – 3 [dB]	Port 7 – 8 [dB]	Port 12 – 13 [dB]	Port 17 – 18 [dB]	Port 22 – 23 [dB]
1310 nm	0,49	1,27	1,11	1,52	1,16
1550 nm	0,22	0,8	0,98	3,56	1,03
Délka [m]	775	1555	1643	1711	1800

Tabulka 4.4: Útlumová bilance optické trasy sestavené z cívek

Útlum trasy sestavené cívkami	
	Port 19 - 20 [dB]
1310 nm	3,92
1550 nm	3,12
Délka [m]	5773

Celková délka trasy, sestavené z cívek s optickým vláknem činí 5773 m. Jedná se o dostatečnou vzdálenost k simulaci reálných podmínek pro provoz GEPON sítě. Tento dálkový spoj zanáší do optické trasy mezi centrální jednotkou OLT a koncovou jednotkou ONU, útlum 3-4 dB. Útlum se liší v řádech desetin vzhledem k použité vlnové délce, viz. Tabulka 4.4.

Měřením celkové optické trasy mezi OLT jednotkou (modulem EPON 2) a experimentálním pracovištěm EP 1 – EP 5, jsou do trasy již zahrnuty všechny útlumové prvky, včetně splitteru 1:8, trasy sestavené z cívek, s optickými vlákny a vložného útlumu konektorových spojení. Útlumovou bilance celkové optické trasy OLT - ONU charakterizuje Tabulka 4.5. Hodnoty útlumu se pohybují kolem 10 - 11 dB, což je hodnota dána součtem všech dílčích, změřených útlumů.

Tabulka 4.5: Útlumová bilance trasy mezi OLT jednotkou a pracovišti EP

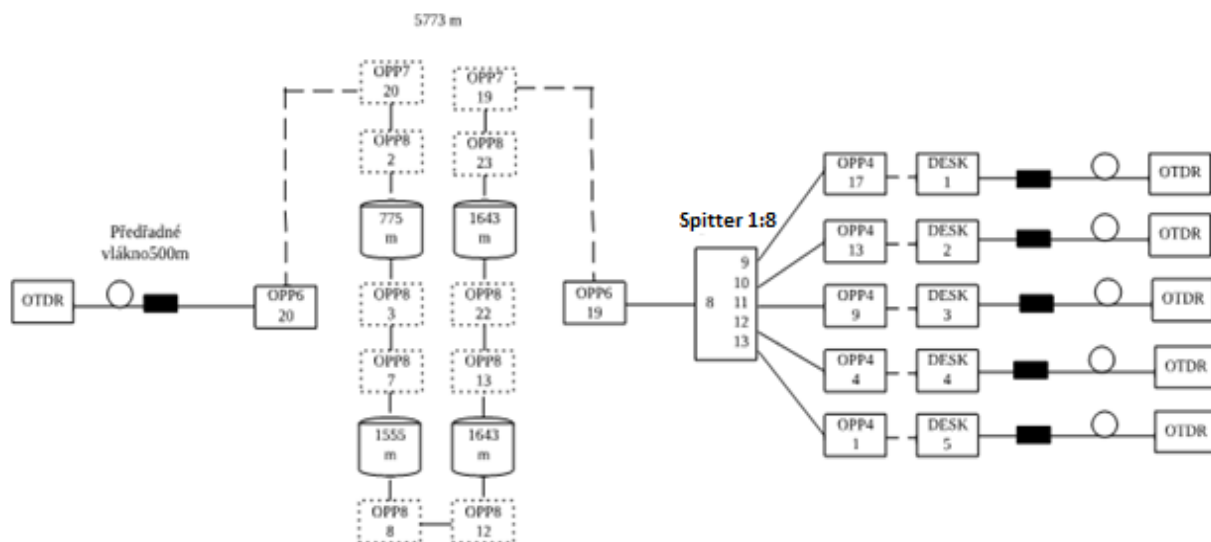
[dB]	EPON2 port 2.0 – EP 1	EPON2 port 2.0 – EP 2	EPON port 2.0 – EP 3	EPON2 port 2.0 – EP 4	EPON2 port 2.0 – EP 5
1310 nm	11,13	11,67	11,86	11,21	11,33
1550 nm	10,64	10,85	10,26	10,91	10,44

#### 4.3.2 Měření za pomoci OTDR

Pro ověření útlumových bilancí jednotlivých optických prvků v sestavené GEPON síti byla použita reflektometrická metoda OTDR. Měřicí přístroj byl zvolen s ohledem na délkové rozpětí realizované sítě a vzdálenosti mezi jednotlivými optickými prvky, z hlediska mrtvých zón, které charakterizují, pro OTDR měření, vzdálenost za útlumovou událostí na trase, na které není schopen přístroj rozlišit žádnou poruchu.

#### 4.3.2.1 Schéma zapojení pro měření

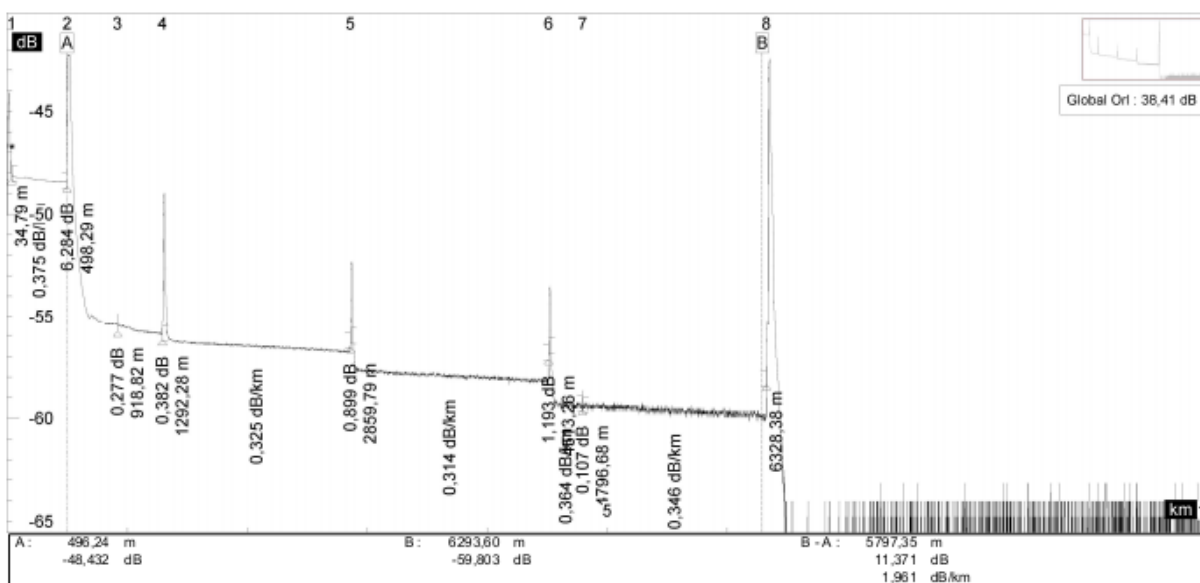
Pro měření byl zvolen přístroj FHO 5000 - D40, který splňuje normu pro měření na standardu PON. A dokáže rozlišit útlumové události na měřené GEAPON síti. Pro připojení do sítě a neutralizaci mrtvých zón bylo použito předřadné vlákno o délce 500 m.



Obrázek 4.6: schéma zapojení pro měření OTDR

#### 4.3.2.2 Náměrová křivka OTDR

Trasa byla proměřena ze směru od centrální jednotky OLT, taktéž od koncové ONU jednotky, jak znázorňuje Obrázek 4.6. Měřicí přístroj nebyl však schopen rozlišit útlumové události za splitterem 1:8, jelikož vlivem dvojnásobného průchodu optického paprsku splitterem, byla již přijímaná úroveň velice malá a na náměrové křivce nerozlišitelná.



Obrázek 4.7: Náměrová křivka OTDR pro trasu mezi OLT jednotkou a splitterem 1:8

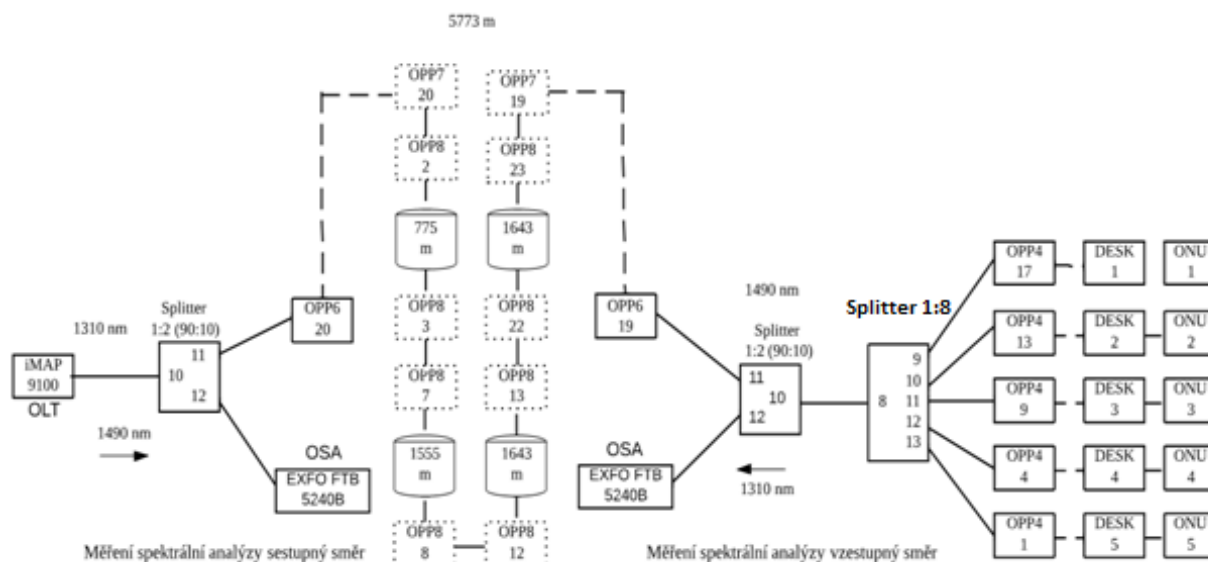
Jak ukazuje Obrázek 4.7, na trase jsou zcela přehledně rozlišitelné odrazy na konektorech a poslední nejrazantnější odraz na splitteru 1:8. První odraz, znázorněný na křivce, patří spojení mezi předřadným vláknem a počátkem měřené trasy, následně jsou zde vykresleny tři konektorová spojení mezi konci jednotlivých cívek s optickými vlákny a odraz na splitteru. Celková délka měřeného úseku, vyznačená markery A a B činí 5797 m, a útlum v měřeném úseku je 11, 371 dB. Útlumová hodnota koresponduje s útlumovou bilancí, měřenou přímou metodou 1C.

### 4.3.3 Měření optickým spektrálním analyzátozem

Pro přehledné rozlišení vlnových délek, přenášených v PON síti, bylo použito optického spektrálního analyzátoru EXFO FTB 5240B, který zajišťuje zobrazení optického spektra GEPON sítě. Byla provedena dvě zapojení přístroje do PON sítě - ve vzestupném směru od koncové jednotky ONU a v sestupném směru od centrální jednotky OLT.

#### 4.3.3.1 Schéma zapojení pro měření

Zapojení optického spektrálního analyzátoru v rámci GEPON sítě je provedeno prostřednictvím splitteru 90:10, přičemž spektrální analyzátor musí být zapojen na větev děliče, propouštějící pouze 10 % z optického výkonu, který je přiveden na jeho vstup tak, aby nedošlo k poškození detektoru analyzátoru. Způsob zapojení je analyzátoru pro zobrazení spektra v sestupném i vzestupném směru vystihuje Obrázek 4.8.

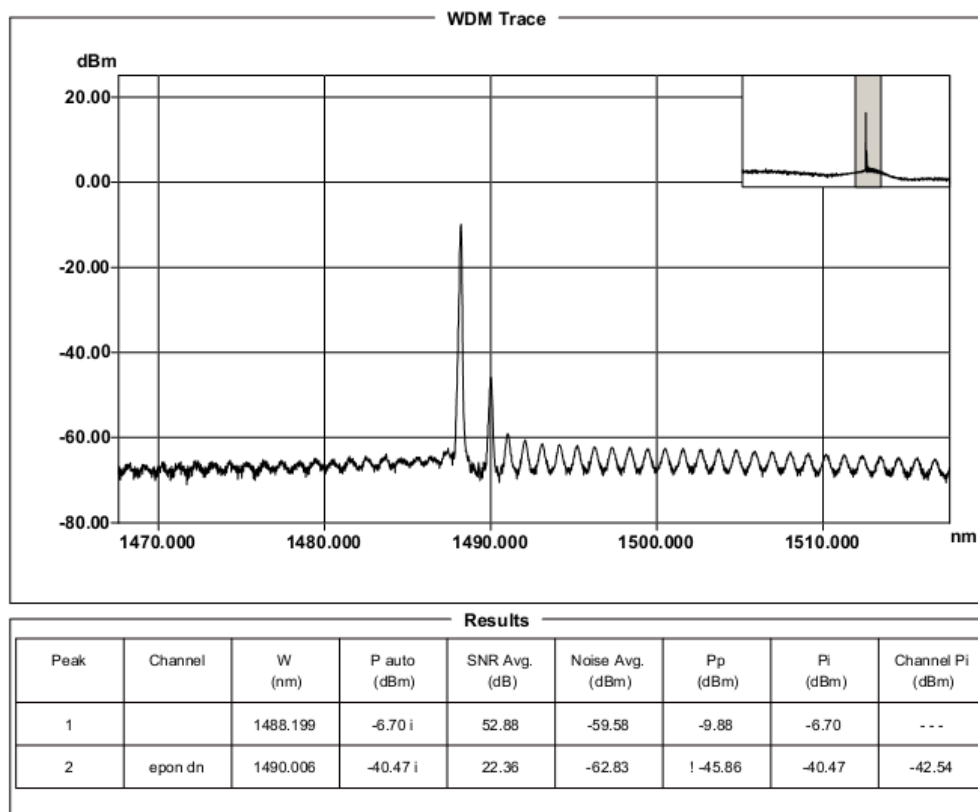


Obrázek 4.8: Schéma zapojení pro měření optickým spektrálním analyzátozem

#### 4.3.3.2 Záznam spektra ve směru od centrální jednotky OLT

V sestupném směru byl optickým spektrálním analyzátozem zachycen hlavní komunikační kanál na vlnové délce 1488.199 nm. Tento kanál je určen pro přenos dat pro sestupný směr v rámci

GEPON síť. V jeho blízkosti byl pak zaznamenán signalizační kanál OLT centrální jednotky na vlnové délce 1490 nm. Záznam spektrální analýzy znázorňuje Obrázek 4.9.

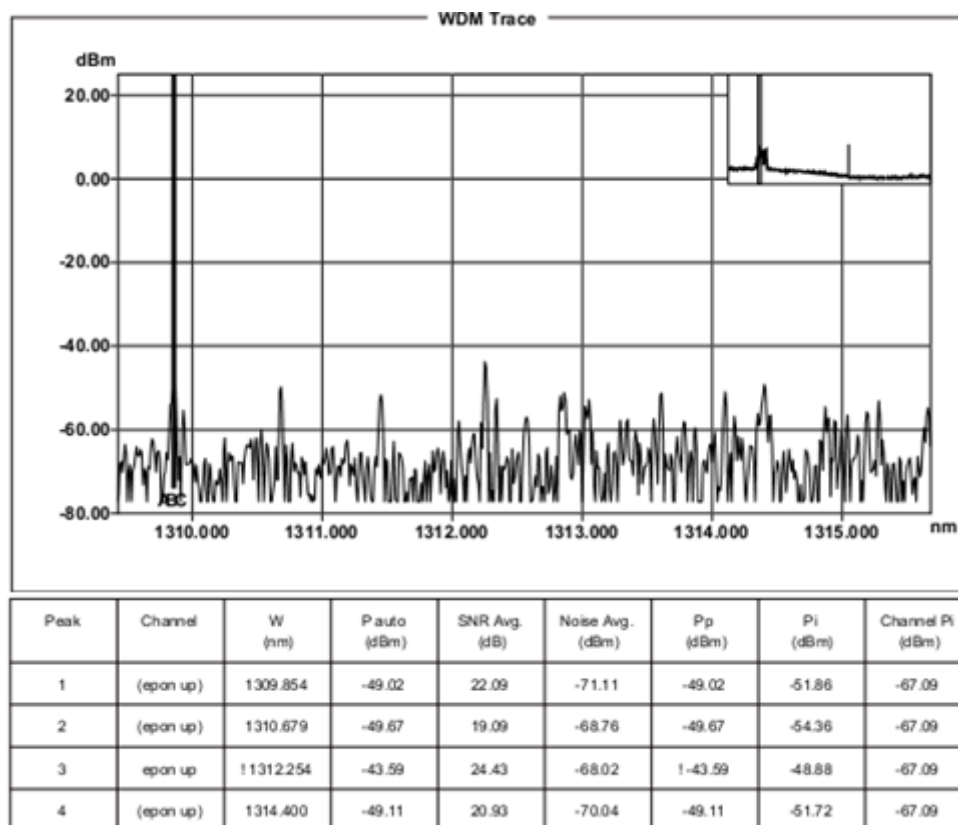


Obrázek 4.9: Spektrální analýza GEAPON sítě v sestupném směru

#### 4.3.3.3 Záznam spektra ve směru od koncové jednotky ONU

Záznam spektra optických, vlnových délek ve vzestupném směru od koncové jednotky ONU, který zachycuje a popisuje Obrázek 4.10, ukazuje několik nevýrazných komunikačních kanálů na vlnových délkách v okolí 1310 nm, což je komunikační vlnová délka ONU jednotek ve vzestupném směru sítě. Vyobrazené spektrum je velice nevýrazné a zachycené komunikační kanály ve vzestupném směru jsou hůře rozlišitelné.





Obrázek 4.10: Spektrální analýza GEPON sítě ve vzestupném směru

V tabulce pod rastrem, zobrazeného spektra, můžeme vidět čtyři komunikační kanály, ve vzestupném směru od koncových jednotek ONU, jejichž výkonovou úroveň se podařilo analyzátoru zachytit. Komunikační kanál v sestupném směru v okolí vlnové délky 1490 nm nelze zachytit, kvůli faktu, že jej v tomto směru nepropustí splitter. Veškerá snaha o měření komunikačního kanálu na 1490 nm, při takto orientovaném zapojení optického spektrálního analyzátoru, by vedla k měření přeslechu na splitteru.

#### 4.3.4 Měření optického výkonu PON power metrem

Pro určení optického výkonu v jednotlivých bodech GEPON sítě bylo použito PON power metru EXFO PPM 350B. Měření bylo provedeno v upstream i downstream směru, tedy měřicí přístroj PPM 350B umožňuje zapojení přímo za centrální jednotku OLT, taktéž předřazení před koncovou jednotku ONU. Přiřazení vlnové délky ke směru měření ukazuje Tabulka 4.6.

Tabulka 4.6 : Výchozí vlnové délky pro každý směr měření

Vlnová délka [nm]	směr	
1310	upstream	směr k OLT
1490	downstream	směr k ONT

Tabulka 4.7: Hodnoty získané výkonovým měřením GEPON sítě

GEPON trasa	výkon ONT 1310nm [dBm]	výkon OLT 1490nm [dBm]	výkon ONT 1310nm [dB]	výkon OLT 1490nm [dB]
strana OLT	-12,9	3,7	9,2	43,6
strana ONT	1,8	-10,4	24	29,6

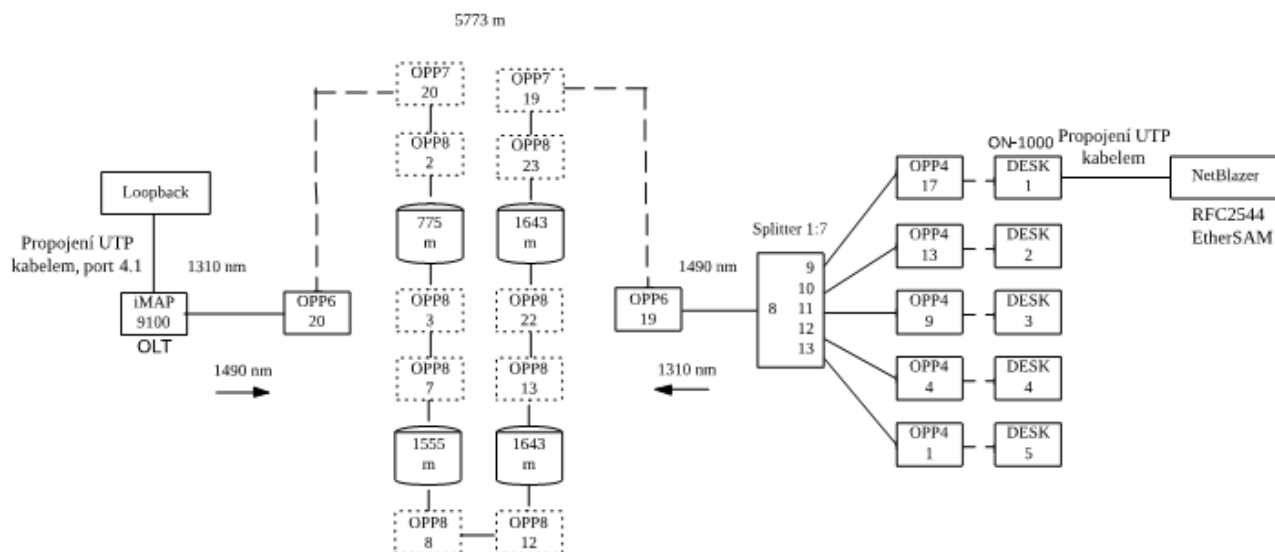
Naměřené hodnoty byly z hlediska směru měření zcela odpovídající. Jak ukazuje Tabulka 4.7, můžeme zde vypočítat, že výkonové úrovně, vztažené k 1 mW, či v útlumovém vyjádření, byly vždy vyšší na vlnové délce aktuálně měřeného směru. Tedy například pro sestupný směr od centrální jednotky OLT bylo dosaženo vyšších hodnot na vlnové délce 1490 nm.

#### 4.3.5 RFC 2544 a EtherSAM analýza

Dalším měřením, provedeným na sestavené GEPON síti, byla metoda RFC 2544 a EtherSAM analýza, které jsou vázány na datovou propustnost sítě, pro jednotlivé služby, a parametry, s tím související. Pro měření bylo užito přístroje EXFO FTB 860 Netblazer Ethernet tester, který simuluje datový provoz v síti a následně měří požadované parametry sítě. K tomu je nutná Loop - Back jednotka EXFO AXS 200/850, která vytváří zpětnou smyčku simulovaného, datového proudu ve směru od centrální jednotky OLT.

##### 4.3.5.1 Schéma zapojení pro analýzu

Zapojení měřicího přístroje Net Blazer je realizováno metalickým UTP kabelem, stejně jako v případě Loop Back jednotky. Po zapojení obou přístrojů, je třeba realizovat jejich vzájemné spárování pomocí kontextové nabídky přístroje Net Blazer - v tomto případě je třeba dbát na správnou adresaci obou přístrojů, tak aby spadaly do jedné sítě. Zapojení Loop Back jednotky a Net Blazer metru, naznačuje Obrázek 4.11.



Obrázek 4.11 : Schéma zapojení pro měření standardu RFC 2544 a EtherSAM

#### 4.3.5.2 Měření standardu RFC 2544

Celé měření je spuštěno tlačítkem "Start" a trvá přibližně 30 minut. Po dokončení jsou naměřené hodnoty přehledně zobrazeny v tabulce pro jednotlivé velikosti přenosových rámců. V měřicím, dialogovém okně, které ukazuje Obrázek 4.12, můžeme vypožorovat, že propustnost sestavené GEAPON sítě se pohybuje okolo 100 Mbit/s, což je rychlostní limitace tohoto měřicího přístroje. Jediný významný pokles propustnosti se týká velikosti rámce 1280 bytů, kde bylo dosaženo pouze 70 Mbit/s. Problémem může být, v tomto případě, nastavení centrální jednotky OLT.



Obrázek 4.12: Výsledky měření standardu RFC 2544

#### 4.3.5.3 Měření EtherSAM

Metoda ITU-T Y.156sam umožňuje testování konkrétních širokopásmových služeb v síti a přesné určení jejich QOS parametrů. Byla tedy využita, jako další zkouška integrity při zatížení sítě datovým provozem. Tímto testem byl získán verdikt pro možnost nasazení testovaných služeb na sestavenou GEAPON síť. Dialogové okno, pro nastavení služby video, naznačuje Obrázek 4.13.

Service: 1

Service name: Service 1

Copy Service

Framing: Profile: HDTV (MPEG-2) Frame Size: Fixed 1374 Bytes

Framing: Ethernet/IPV4/UDP

SLA Parameters

Parameter	Value
SERVICE	Enabled
CIR (Mbit/s)	20.443
EIR (Mbit/s)	20.443
Overshoot (Mbit/s)	20.443
Total TX Rate (Mbit/s)	30.570
Max Jitter (ms)	10.0
% Frame Loss	0.0
Round-trip Latency (ms)	30.0

Obrázek 4.13: Nastavení služby Video

Pro službu video byla zvolena HD kvalita přenosu s datovým tokem o velikosti 20 Mbit/s. Variabilní zpoždění, neboli jitter, měl svou hranici nastavenou na 10 ms a parametr latence byl omezen hranicí 30 ms.

The screenshot shows the configuration for Service 2. The 'Service' tab is selected, and 'Service 2' is entered in the 'Service name' field. The 'Framing' section shows 'Profile' set to 'VoIP G.711' and 'Frame Size' set to 'Fixed' with a value of '138' Bytes. The 'SLA Parameters' section is expanded, showing the following settings:

Parameter	Value
SERVICE	Enabled
CIR (Mbit/s)	0.126
EIR (Mbit/s)	0.126
Overshoot (Mbit/s)	0.126
Total TX Rate (Mbit/s)	30.570
Max Jitter (ms)	10.0
% Frame Loss	0.0
Round-trip Latency (ms)	150.0

Obrázek 4.14: Nastavení služby Voice

Nastavení hlasové služby Voice over IP, viz. Obrázek 4.14, bylo definováno jedním z předpřipravených profilů pro testování. Jednalo se o profil "VoIP G.711", který je charakterizován názvem kodeku G.711, bavíme se tedy o přenosu hlasu, klasickým telefonním kodekem, s rychlostí 64 kbit/s. Maximální latence pro službu VoIP je standardizována na 150 ms, hraniční hodnota jitteru zůstává na 10 ms.

The screenshot shows the configuration for Service 3. The 'Service' tab is selected, and 'Service 3' is entered in the 'Service name' field. The 'Framing' section shows 'Profile' set to '01001 10010' and 'Frame Size' set to 'Random'. The 'SLA Parameters' section is expanded, showing the following settings:

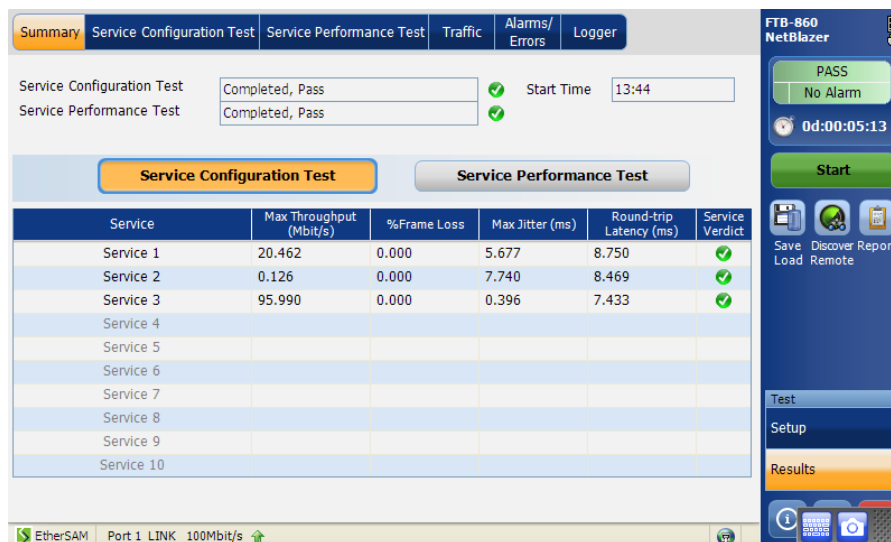
Parameter	Value
SERVICE	Enabled
CIR (Mbit/s)	95.988
EIR (Mbit/s)	95.988
Overshoot (Mbit/s)	95.988
Total TX Rate (Mbit/s)	100.000
Max Jitter (ms)	50.0
% Frame Loss	0.2
Round-trip Latency (ms)	200.0

Obrázek 4.15: Nastavení služby Data

Nastavení poslední služby "Data" bylo provedeno dle kvalitativních a prioritních požadavků na datové přenosy v síti, jako jsou stahování a posílání souboru uživatelem. Jak ukazuje Obrázek 4.15, propustnost je v kontextové nabídce nastavena na maximální přípustnou hodnotu 95 Mbit/s, hraniční hodnota jitteru, profilem definována, je 50 ms a zpoždění je omezeno hodnotou 200 ms. Což je pro datové přenosy z hlediska QOS, přípustné.

Výsledky měření definovaných služeb, na sestavené GEAPON síti, splnily všechny předpoklady pro nasazení širokopásmových služeb Triple Play, viz. Obrázek 4.16. U všech služeb bylo dosaženo maximálních přenosových rychlostí, definovaných v jednotlivých profilech. Nejvyšší jitter byl naměřen u služby VoIP a činí 7,74 ms - tato hodnota splňuje rozmezí, definované pro přenos VoIP ve standardních sítích. Naměřené hodnoty latence pro jednotlivé služby Triple Play, se pohybují okolo 7

až 8 ms, což bylo přístrojem vyhodnoceno také jako vyhovující. Po vyhodnocení všech testovaných služeb je zřejmé, že reálný provoz těchto služeb na navržené GEPON síti, by nepředstavoval sebemenší problém.



Obrázek 4.16: Výsledky měření EtherSAM

## 4.4 Konfigurace GEPON sítě pro realizaci a měření RFoG vysílání

Pro samotné měření RFoG vysílání, realizované na sestavené GEPON síti, bylo třeba provést konfiguraci základních prvků, které dokážou ovlivnit kvalitu vysílání. Jedná se primárně o centrální jednotku OLT a LAN emulátor Simena, jenž je při měření použit pro znehodnocení samotného vysílání.

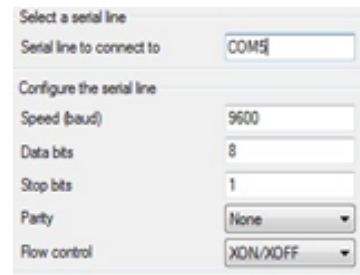
### 4.4.1 Konfigurace centrální jednotky OLT

Prvním, konfigurovaným prvkem je centrální jednotka OLT, které je řídicím prvkem PON sítě a na jejím nastavení závisí funkčnost koncových jednotek ONU, správné směrování datového provozu v PON síti a vzájemné komunikace mezi jednotlivými síťovými uzly. Konfigurace je velice intuitivní a probíhá v textově orientovaném rozhraní programu Putty.

Pro správné nastavení centrální jednotky OLT, bylo nutné provést tyto kroky:

- 1 Připojení PC RS-232 sériovým kabelem s portem na OLT jednotce MiniMAP 9102, který nese označení CONSOLE. Pokud PC nedisponuje sériovým portem, je nutné užití USB emulátoru.
- 2 Spuštění programu Putty (případně Hyperterminál) na PC, ze kterého budeme provádět management. Jak ukazuje Obrázek 4.17, je třeba, pro úspěšnou realizaci spojení nastavit následující parametry spojení:

- Název sériového portu pro připojení (Nutno zjistit ve správci zařízení systému windows)
- Baud rate: 9600 bps
- Data bits: 8
- Parity: None
- Stop bits: 1
- Flow kontrol: None



Obrázek 4.17: Parametry sériové komunikace s OLT jednotkou

- 3 Po připojení na systém centrální jednotky OLT je nutno tyto vyplnit přihlašovací údaje:
  - Name: **officer**
  - Password: **officer**
- 4 Po přihlášení by měla být provedena kontrola nastavení centrální jednotky OLT za pomoci příkazů:
  - *show system*
  - *show interface*
- 5 Následně je nutno zkontrolovat přítomnost modulu EPON a číselné označení portů. Dle IP adresy výchozí brány by měla být na portu 2.0 nastavena IP adresa 192.168.0.1 pro rozhraní modulu EPON příkazem:
  - *set interface 2.0 epon ipaddress=192.168.0.1*
- 6 Realizace připojení ke koncovým jednotkám ONU, v centrální jednotce OLT, zadáním jejich polohy v síti, MAC adresy a typu pomocí příkazu:
  - *create onu <název onu > <onuid v rozsahu 0 až 31> <číslo rozhraní EPON><MAC adresa ONU jednotky>*

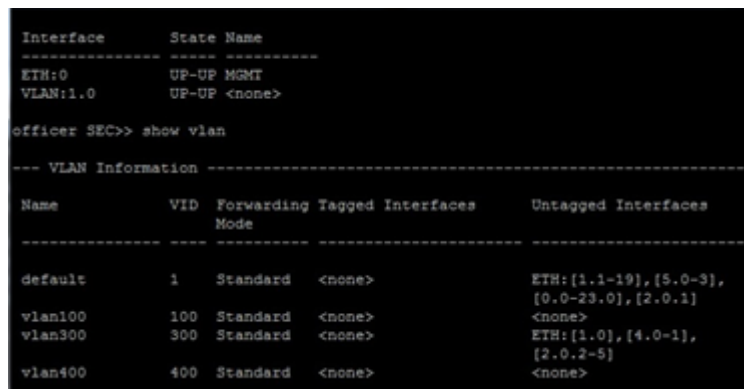
MAC adresa je uvedena na spodní straně každé ONU jednotky.
- 7 Kontrolu správně vytvořené ONU jednotky provedeme příkazem:
  - *show interface <jméno ONU jednotky >*

U správně vytvořené koncové jednotky ONU je položka state ve stavu up-up.
- 8 Následně je provedeno přiřazení všech používaných portů centrální jednotky OLT do jednotné VLAN sítě s názvem "300", pro definování cesty datového toku. Používanými porty jsou 4.0 pro metalické UTP spojení s LAN sítí, a port číslo 2.0, zprostředkávající optickou konektivitu s koncovými ONU jednotkami.
  - *add vlan vlan300 interface 4.0*
  - *add vlan vlan300 interface 2.0*

---

Pro kontrolu přiřazení jednotlivých rozhraní k VLAN (viz. Obrázek 4.18) použijeme příkaz:

- *show vlan*



```
Interface      State Name
-----
ETH:0          UP-UP MGMT
VLAN:1.0       UP-UP <none>

officer SEC>> show vlan

--- VLAN Information ---

Name          VID  Forwarding Tagged Interfaces  Untagged Interfaces
-----
default       1    Standard  <none>                    ETH:[1.1-19], [5.0-3],
vlan100       100  Standard  <none>                    [0.0-23.0], [2.0.1]
vlan300       300  Standard  <none>                    <none>
vlan400       400  Standard  <none>                    ETH:[1.0], [4.0-1],
                                     [2.0.2-5]
                                     <none>
```

Obrázek 4.18: Výpis jednotlivých VLAN sítí a přiřazených rozhraní příkazem "show vlan"

- 9 Dalším krokem k dosažení maximální efektivity distribuce DVB-T streamu je vytvoření a přiřazení QOS profilu, definující přenosovou rychlost pro Downstream i Upstream na 1Gbit/s. Vše provedeme příkazy:

- Vytvoření QOS profilu  
*create qospolicy=test upmin=10M upmax=10M downmin=4M downmax=4M*
- Přiřazení QOS profilu k dané ONU (x odpovídá ID dané ONU jednotky)  
*add qospolicy=test interface = 2.0.x bidirectional vlan=300*

- 10 Posledním krokem je vypnutí kontroly datového toku "flow control" na koncových ONU jednotkách, to je realizováno příkazem:

- *set interface 2.0.x flow control off (x odpovídá ID dané ONU jednotky)*

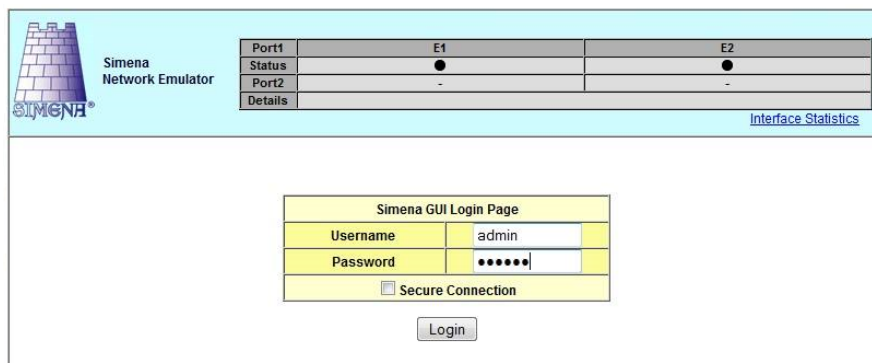
#### 4.4.2 Konfigurace síťového emulátoru Simena

Emulátor LAN sítě Simena je velice výkonným nástrojem pro nastavení a aplikaci parametrů, degradujících síťový provoz, jedná se v podstatě o hub, který přeposílá síťový provoz mezi vstupním a výstupním portem. V našem případě je síťový provoz definován DVB-T streamem, vysílaným sítí. Konfigurace parametrů probíhá prostřednictvím internetového prohlížeče v grafickém rozhraní emulátoru simena. Rozhraní je velice přehledné a k aplikaci změny nastaveného parametru dochází takřka okamžitě bez nutnosti zastavení síťového provozu.

Pro řízené nastavování jednotlivých parametrů, degradujících síťový provoz, bylo nutné provést tyto kroky:

- 1 Připojení PC, síťovým UTP kabelem, do management portu emulátoru simena. PC musí mít nastavenou IP adresu z rozsahu 192.168.0.x /24

- 2 Otevření internetového prohlížeče a zadání IP adresy 192.168.0.5, na které se nachází webové, konfigurační rozhraní emulátoru Simena
- 3 Po připojení na systém emulátoru Simena, je nutno tyto vyplnit přihlašovací údaje (viz. Obrázek 4.19):
  - Name: **admin**
  - Password: **simena**



Obrázek 4.19: Přihlašovací obrazovka do konfiguračního rozhraní Simeny

- 4 Poté je již možno přejít ke konfiguraci parametrů pro měření vysílaného DVB-T streamu. Obrázek 4.20, vyobrazuje náhled na konfigurační dialogové okno pro nastavení hodnot požadovaných parametrů. Pro měření ovlivnitelnosti síťového DVB-T streamu byly zvoleny následující parametry:
  - **latency** (zpoždění)
  - **jitter** (variabilní zpoždění)
  - **packet loss** (ztrátovost)
  - **BER** (bitová chybovost)
  - **Bandwidth** (šířka přenosového pásma)

Nastavování hodnot každého z parametrů je prováděno po stanovených krocích, které budou upřesněny v kapitole 5.2.1.



<input type="checkbox"/> Packet Count Offset				
<input type="checkbox"/> Emulated Packets				
<input checked="" type="checkbox"/> Latency (msec)				
<input type="checkbox"/> Probability (%)				
<input checked="" type="radio"/> Fixed		100		
<input type="radio"/> Uniform Distribution	Min		Max	
<input type="radio"/> Normal Distribution	Mean		Variance	
<input type="radio"/> Custom Latency		Select a file ▼		
<input checked="" type="checkbox"/> Jitter (msec)		25		
<input checked="" type="checkbox"/> Packet Loss				
<input type="radio"/> Fixed			Every nth packet	
<input checked="" type="radio"/> Dynamic (%)		2.5		
<input type="radio"/> Burst	Period (sec)		Min pkts.	Max pkts.
<input type="radio"/> Custom Packet Loss		Select a file ▼		
<input checked="" type="checkbox"/> Bandwidth (bps)		20000000		
<input type="checkbox"/> Accumulate & Burst	Burst Size		Timeout (sec)	(default = 5sec)
<input type="checkbox"/> Congestion	Period (sec)		Min (msec)	Max (msec)
	Pkt Loss		Latency (msec)	
<input type="checkbox"/> Carrier Loss	Period (sec)		Min (msec)	Max (msec)
<input type="checkbox"/> Packet Duplication				
<input type="radio"/> Dynamic Duplication	Period (sec)		Duplicates	
<input type="radio"/> Fixed Duplication	Duplicate every packet			
<input type="checkbox"/> Out of Order Packets	Prob. (%)		Min offset	Max offset
<input type="checkbox"/> Fragmentation	<input type="checkbox"/> Ignore DF		Prob. (%)	Size (bytes)
<input checked="" type="checkbox"/> Bit Error Rate	10 <sup>-n</sup> (n is bit error rate power)		7	

Obrázek 4.20: Konfigurační dialog pro nastavení jednotlivých parametrů síťového provozu

---

## 5 Měření kvality RFoG vysílání v optické přístupové síti

Měření bylo realizováno na takto sestavené GEAPON síti, jak již bylo zmíněno, zdrojem měřeného televizního vysílání je IP-TV stream server. V oblasti měření objektivními metodami nabízí sestavená topologie GEAPON sítě, jak softwarové, tak hardwarové metody měření RFoG vysílání. Ve výsledku bylo provedeno měření na síťové vrstvě vysílaného streamu a kontrolní proměření výkonových úrovní na dvou druhích RFoG bran, které jsou možným řešením pro konvergování pasivní optické sítě na RFoG.

### 5.1 Prostředky pro měření kvality RFoG vysílání

Pro měření kvality RFoG a analýzy jednotlivých parametrů vysílání je možno vybírat ze širokého portfolia měřících přístrojů. V této podkapitole jsou, pro upřesnění, popsány základní charakteristiky vybraných měřících přístrojů, které jsou použity pro experimentální náměry. Jedná se o přístroj EXFO 200/625 a Televes H 45.

#### 5.1.1 Triple-Play analyzátor EXFO 200/625

Triple - Play tester AXS-200/625 pro metalické kabely do 30 MHz a ADSL2 + je velice výkonný nástroj, který umožňuje kvalifikaci a odstraňování metalických kabelových smyček a pokročilé testování Triple - Play služeb po jednotlivých úrovních. Využívá k tomu řízených pass/fail automatizovaných funkcí v rámci jedné, zavedené testovací sady.

Kromě ověřování konektivity k DSLAM ústředně, je schopen ,AXS-200/625, zaznamenat upstream i downstream parametry přenosu, jako je aktuální rychlost, útlum a šumové rozpětí.. Umožňuje také pokročilé měření IPTV parametrů, jako jsou packet jitter, packet loss, jitter PCR, MDI, prohlížeč PID, a IGMP zapínací čas. Je zde na výběr mezi testováním v konečném a kontinuálním módu. AXS-200/625 také monitoruje rezidenční toky volání VoIP a statistiky, usnadňující určení QOS parametrů pro službu VoIP. [27]

##### 5.1.1.1 Základní charakteristika přístroje

Podle [27], je přístroj vhodný pro tyto druhy měření:

- Jednoznačné určování výsledků, prostřednictvím měření Auto Test, podle uživatelsky definovaných pass / fail kritérií .
- ADSL2 + a Ethernet 10/100 testování v jednom.
- Měření klíčových kvalifikačních IPTV parametrů, s funkcemi, jako jsou například emulace zařízení set-top-box ( STB ), join / leave žádosti, analýza PCR jitteru a MDI reporty.

- 
- Superior testování sítě, jako je ping a traceroute měření stejně jako testování rychlosti u HTTP a FTP protokolů .
  - Analýza 30 MHz spektra, jednostranné VDSL2 přípojky, pro zhodnocení možnosti nasazení, navíc zpětně kompatibilní s ADSL2 +.
  - Ověřování standardních voiceband okruhů.
  - Spektrální analyzátor s automatickou detekcí rušení.
  - Single - ended testování - není vyžadováno žádné vzdálené zařízení.
  - Loop Mapper - grafické znázornění smyčky.
  - Barevný displej s grafickou analýzou.
  - POTS a VF měření pro kompletní kvalifikaci ADSL2 + a VDSL2 smyček.
  - Predikce datové přenosové rychlosti.
  - Automatické testování analogové IPTV.
  - Detekce živých kabelových párů a oprava smyček.

#### **5.1.1.2 Typické aplikace**

AXS-200/625 umožňuje testování a měření mimo zákaznické prostory na technologii ADSL1/2/2 + nebo vnitřní měření prostřednictvím Ethernetu. Oba režimy umožňují použít tuto testovací sadu pro několik typů aplikací [27]:

- IPTV analýza
- Analýza a rozbor datových proudů
- VoIP analýza
- CPE testování
- Auto test

Přístroj může být navíc také nakonfigurován pro spuštění série metalických kvalifikačních testů, pro vyhodnocení, zda je daný kabel vhodný pro nasazení na digitální účastnickou linku (DSL). Mohou to být například testy, jako jsou [27]:

- POTS auto test
- DMM testování
- VF testování
- Fault location testy
- Testování šířky pásma

Rozměry přístroje a vybavenost baterií, zajišťují vysokou mobilitu a praktické použití při měření v terénu. Náhled na přístroj poskytuje Obrázek 5.1.



*Obrázek 5.1: Měřicí přístroj EXFO AXS - 200/625 [27]*

### 5.1.2 Měřicí přístroj Televes H45

Jedná se v podstatě kombo přístroj realizující kompletní digitální a analogová měření v pásmu od 45 do 2150 MHz. Přístroj umožňuje spektrální analýzu, měření úrovně a poměru C/N pro digitální i analogové signály. V digitálním režimu dokáže přístroj měřit parametry BER a MER pro DVB-H, DVB-T, DVB-S a DVB-S2. Je vybaven i MPEG dekodérem..

Primární funkcí tohoto analyzátoru je měření digitálních i analogových signálů, které jsou vysílány v normách DVB-T, DVB-C, DVB-S a S2. Jak ukazuje Obrázek 5.2, uprostřed přístroje je velký displej o úhlopříčce 12,5cm, vlevo tlačítka pro pohyb v menu, zapnutí/vypnutí a indikační kontrolky (napájení ext. zdrojem, nabíjení, zapnuto). Vpravo jsou tlačítka pro vlastní měření – volba kanálu, režim zobrazení kanál/frekvence, přepínání mezi satelitním a terestrickým pásmem, zapínání napětí, 22Khz diseqc povelů do vstupního konektoru, přepínání režimu měření analog/digitál, nastavení jasu/kontrastu displeje nebo změna barevného režimu displeje, při práci na slunci. Displej je pak docela čitelný při běžné práci, jen při přímém slunci se čitelnost zhoršuje. [28]



*Obrázek 5.2: Měřicí přístroj Televes H 45*

---

#### 5.1.2.1 *Režimy měření*

- Základní režim měření se nazývá **3 v 1**. Na obrazovce jsou zobrazeny celkem 3 údaje – spektrum, digitální parametry a náhled na obraz vysílaného programu. Je možné přepínání mezi programy v Multiplexu, zobrazen je pouze jen nekódovaný kanál. Nižší verze přístroje nezobrazí obraz u MPEG4 programů. Přístroj je schopen, v základním digitálním měření, zobrazit parametry MER, cBER (chybovost před korekcí), úroveň signálu a také odstup signál/šum. [28]
- **Zobrazení spektra** - Vykreslení spektra je pro přístroj rychlou úlohou. Lze si také povšimnout, že při režimu měření 3v1 je obálka spektra pěkně uhlazená, avšak při načtení režimu spektrálního analyzátoru jsou okamžitě znatelné propady na obálce. Tedy je zde znatelná odlišnost vyobrazení spektra v kombo režimu [28]
- **Datalogger** je režim, který je určen k automatickému měření a ukládání hodnot podle zvoleného měřicího plánu. Zaznamenané logy je možné prohlížet či vymazat přímo v editačním menu přístroje nebo volitelně, pomocí portu USB přenést data do počítače. Přenos do počítače je realizován běžným USB kabelem (A-B), který je součástí balení. Pro přenos je potřeba nainstalovat ovladač USB portu a přiložený ovládací program. [28]

#### 5.1.2.2 *Kvalitativní profily*

Pro každý měřený signál je možné nadefinovat tzv. kvalitativní profil. V podstatě se jedná o vymezení hraničních hodnot měřeného signálu, které lze považovat za minimální možné, optimální nebo zcela nepoužitelné. Profily jsou zde nastavitelné pro všechny přístrojem měřitelné signály – analog pozemní i satelitní, DVB-T, DVB-S, DVB-C a DVB-S2 a také FM rádio,. Nastavitelné jsou až 4 profily, z toho 2 jsou definovány přímo výrobcem – jde o profil outlet (zásuvka) a HeadEnd (hlavní stanice), další dva profily, které jsou k dispozici, jsou plně uživatelsky nastavitelné. Ve všech profilech je možné měnit hodnoty dle potřeb.

Nastavené hodnoty lze rovnou uložit do měřicího přístroje a pak kontinuálně při měření analyzovat, které hodnoty jsou optimální (značeny zelenou značkou). Naproti tomu, které jsou sice na hraně ale použitelné (žluté), či hodnoty, které jsou zcela nepoužitelné (červená značka). Toto značení výborně usnadňuje zpracování výsledků měření. [28]

## 5.2 Experimentální měření na technologii RFoG

Pro posouzení nasazení technologie RFoG do pasivních optických sítí nové generace, je nutno analyzovat kvalitu RFoG vysílání, na koncových RFoG jednotkách a proměřit fyzické parametry

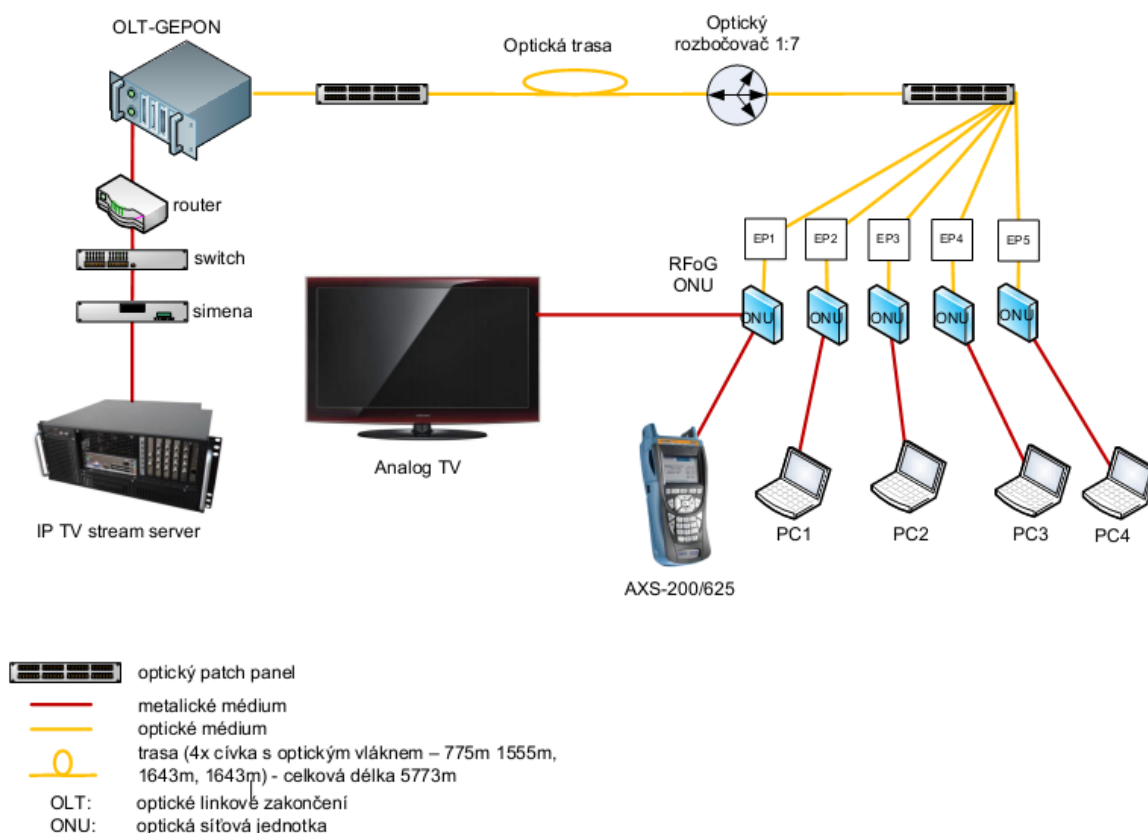
těchto koncových jednotek pro zhodnocení možnosti nasazení a celkového dopadu na pasivní optickou síť. Celkově byly tedy realizovány dvě měření, která podávají potřebné zhodnocení všech aspektů.

### 5.2.1 Měření parametrů vysílaného streamu pomocí přístroje EXFO AXS-200/625

V okamžiku, kdy je provedeno nastavení všech prvků v měřené topologii, a RFoG vysílání běží, je možno přistoupit k samotnému experimentálnímu měření. První měřenou úlohou je měření a zhodnocení klíčových parametrů RFoG vysílání, za využití sofistikovaného analyzátoru EXFO 200/625, který je připojen na RFoG koncovou jednotku ONU.

#### 5.2.1.1 Schéma zapojení pro realizaci měření

Pro měření bylo realizováno zapojení, které znázorňuje Obrázek 5.3. Je vycházeno ze sestavené topologie GEAPON sítě, která je doplněna o metalické rozhraní pro připojení DVB-T stream serveru a zapojení celkem čtyř koncových PC stanic. Metalická síťová architektura je definována síťovým emulátorem Simena, jehož nastavení je popsáno v kapitole 4.4.2, a routerem, komunikujícím s multicastovým protokolem IGMP. Koncová jednotka RFoG ONU, nasazená speciálně pro účely měření, je přípojným bodem pro měřicí přístroj AXS-200/625 a analogovou televizi, připojenou prostřednictvím koaxiálního kabelu.



Obrázek 5.3: Schéma zapojení pro měření experimentální úlohy číslo 1

---

### 5.2.1.2 *Zpracování a analýza měřených parametrů vysílání*

Výsledky, získané kontinuálním měřením parametrů vysílání byly přístrojem EXFO AXS-200/625, logovány do CSV souborů. Hodnoty, obsažené v CSV souborech, jsou následně selektovány, zprůměrovány a použity pro sestavení grafických závislostí. Měření trvá celkem 30 minut pro každý, měřený parametr.

Pro analýzu míry ovlivnění měřeného RFoG vysílání, degradací klíčových parametrů přenosu byly zpracovány následující závislosti:

- ✓ Vyhodnocení závislosti downstream přenosové rychlosti vysílání na nastavené propustnosti sítě.
- ✓ Vyhodnocení závislosti míry ztrátovosti paketů ve vysílaném streamu, na nastavené propustnosti sítě.
- ✓ Změna velikosti variabilního zpoždění IP paketů při ovlivnění nastavenou propustností sítě.
- ✓ Tabulkový přehled, zrakem zaznamenaných, deformací obrazu v závislosti na nastavené úrovni chybovosti BER.

Z hlediska efektivity měření a ustálení měřených parametrů, byly pro měření zvoleny tyto náležitosti:

- Časový interval pro měření, nastavené hodnoty, parametru na síťovém emulátoru Simena (krok měření) : **3 minuty**
- Počet kroků měření pro analyzovaný parametr : **10**
- Rozmezí a krok, pro nastavované hodnoty, jsou zvoleny dle teoretických předpokladů a konzultace s vedoucím práce

Po získání naměřených hodnot, je nutno provést selekci a zprůměrování hodnot pro každý časový interval měření, nastaveného parametru, v tabulkovém procesoru. Do tabulkového procesoru jsou hodnoty importovány z CSV souboru. Je důležité dbát skutečnosti, že měřicí přístroj utváří v log souboru 2 sloupce hodnot, přičemž první odpovídá změřené hodnotě a druhý časovému intervalu, ve kterém byla hodnota zaznamenána. Oba sloupce jsou odděleny čárkou, a je tedy nutné zvolit, při importu hodnot do tabulkového procesoru, správný oddělovač sloupců, aby nedošlo k jejich sloučení.

Tabulkové přehledy zpracovaných hodnot vyobrazuje .

Tabulka 5.1, Tabulka 5.2 a Tabulka 5.3. Každý řádek v tabulce odpovídá jednomu kroku měření, který je, jak již bylo zmíněno, svou délkou roven třem minutám, jedná se tedy o průměrnou hodnotu kontinuálního měření o délce 3 minuty.

Tabulka 5.1: Závislost downstream přenosové rychlosti na nastavené šířce pásma

<b>Měření závislosti downstream přenosové rychlosti na nastavené propustnosti sítě</b>	
<b>Nastavení šířky pásma na síťovém emulátoru Simena[Mbit/s]</b>	<b>Velikost downstream toku [kbit/s]</b>
100	4128
90	4081
80	4150
70	3942
60	3853
50	4257
40	4171
30	3910
20	3090
10	1809

Tabulka 5.2: Ovlivnění variabilního zpoždění IP paketů nastavenou propustností sítě

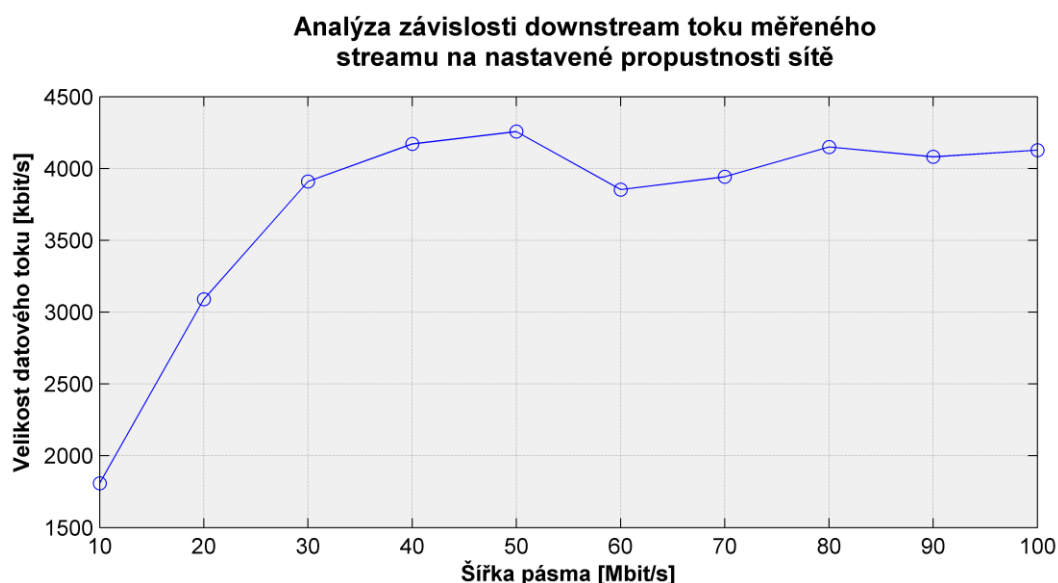
<b>Měření ovlivnění variabilního zpoždění IP paketů nastavenou propustností sítě</b>	
<b>Nastavení šířky pásma na síťovém emulátoru Simena[Mbit/s]</b>	<b>Průměrný IP packet jitter [%]</b>
100	6,007
90	7,820
80	6,621
70	8,217
60	7,360
50	6,658
40	7,644
30	7,451
20	8,590
10	28,927



Tabulka 5.3: Závislost míry ztrátovosti paketů na nastavené šířce pásma

Měření míry ztrátovosti paketů podle nastavení šířky pásma	
Nastavení šířky pásma na síťovém emulátoru Simena [Mbit/s]	Průměrná ztrátovost [%]
100	0
90	0
80	0
70	0
60	0
50	0
40	0
30	2
20	13
10	25

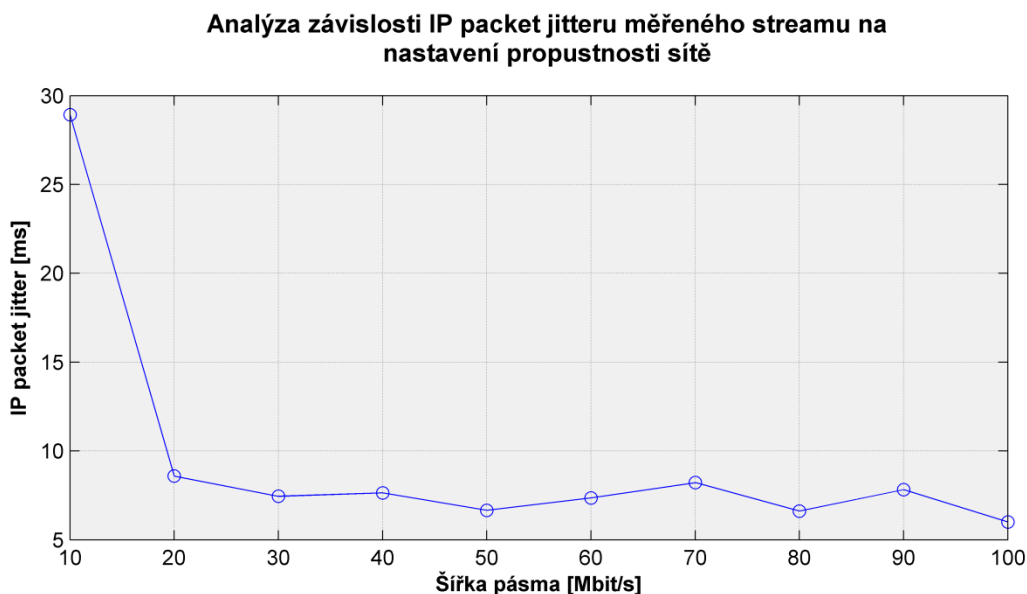
Po zpracování hodnot do tabulek jsou hodnocené závislosti vyneseny do grafu pro určení zkoumaných vlivů. Všechny grafy jsou znázorněním, analyzovaných závislostí, získaných z těchto experimentálních měření.



Obrázek 5.4: Graf závislosti downstream toku měřeného streamu na nastavené propustnosti sítě

V prvním z grafů, viz. Obrázek 5.4, můžeme vidět závislost velikosti downstream datového toku, měřeného streamu na nastavení propustnosti sítě na emulátoru Simena. Je zřetelné, že velikost datového toku je v případě tzv. úzkého hrdla v síti, bude omezena v závislosti na dostupné šířce pásma, za cenu zhoršení kvality přenášeného streamu. S postupným snižováním propustnosti v síti, se

dostáváme k hranici potřebné šířky pásma, pro přenos pouze samotného streamu, bez dalšího zatížení jinými širokopásmovými službami. Výsledkem měření je, že pro přenos samotného streamu, v měřených podmínkách je nutná šířka pásma alespoň 30 Mbit/s. Pod touto hranicí již dochází ke znatelné degradaci.

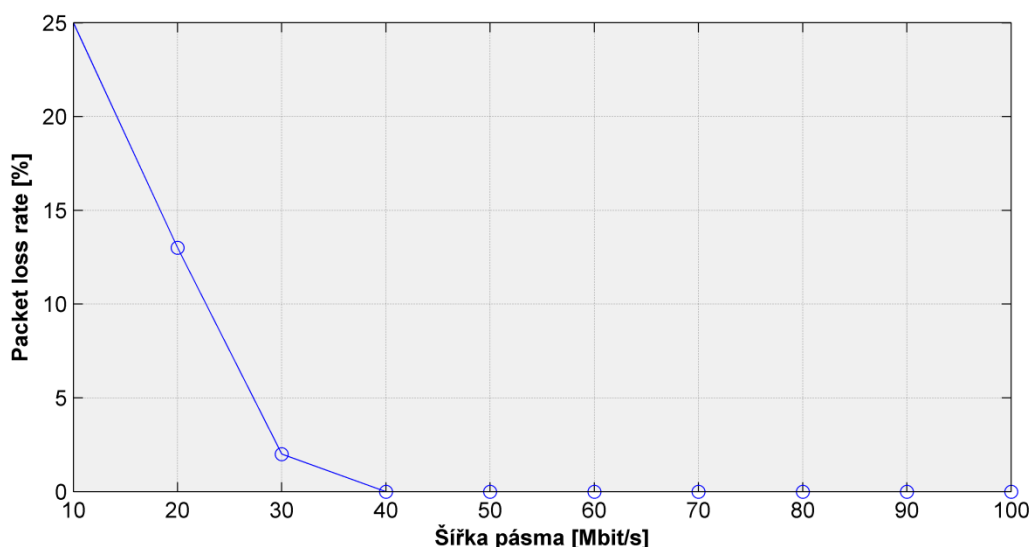


*Obrázek 5.5: Graf závislosti IP packet jitteru měřeného streamu na nastavení propustnosti sítě*

Další ze zkoumaných závislosti je naznačena v grafu, který charakterizuje Obrázek 5.5, a jedná se o ovlivnění variabilního zpoždění (Jitteru), v závislosti na nastavení propustnosti sítě, emulované Simenou. Je vidět, že v souvislosti s razantní změnou šířky přenosového pásma, dochází u měřeného streamu ke znatelnému nárůstu proměnného zpoždění. Pokud propustnost klesne pod 20 Mbit/s, nastává skokové zvýšení jitteru až k nepřipustným hodnotám kolem 30 ms, oproti standardním 6 až 8 ms.

Pokud bychom se měli zabývat zkoumáním vlivu šířky pásma na ztrátovost paketů u měřeného streamu, tuto závislost, respektive její grafické znázornění, ilustruje Obrázek 5.6. Jak je viditelné a také teoreticky předvídatelné, potvrdila se skutečnost, postupného zvýšení ztrátovosti paketů, měřeného streamu, vlivem poklesu propustnosti pod hranici 40 Mbit/s. Ztrátovost paketů, je zcela zásadním jevem pro vizuální degradaci obrazu, a tudíž její sebemenší zvýšení, můžeme okamžitě zaregistrovat. Hraniční hodnota ztrátovosti byla při měření zaznamenána až k 25 %, což je zcela nepřijatelné pro plynulost a dynamiku obrazu. Při ztrátovosti 25 % je obraz na TV přijímači již statický.

**Analýza závislosti ztrátovosti paketů u měřeného streamu na nastavení propustnosti**



*Obrázek 5.6: Graf závislosti ztrátovosti paketů u měřeného streamu na nastavení propustnosti sítě*

Posledním analyzovaným parametrem, vysílaného streamu, je bitová chybovost BER. Jedná se o zásadní parametr pro správnou rekonstrukci obrazového signálu. Tabulka 5.4, subjektivně popisuje zaznamenané vlivy nastavení úrovně chybovosti BER na kvalitu vysílaného streamu. Můžeme vidět, že pro účely DVB-T vysílání, ve standardním rozlišení, je stále sledovatelná i bitová chybovost na úrovni  $10^{-9}$ .

*Tabulka 5.4 : Hodnocení kvality obrazu na TV přijímači dle nastavené úrovně chybovosti BER*

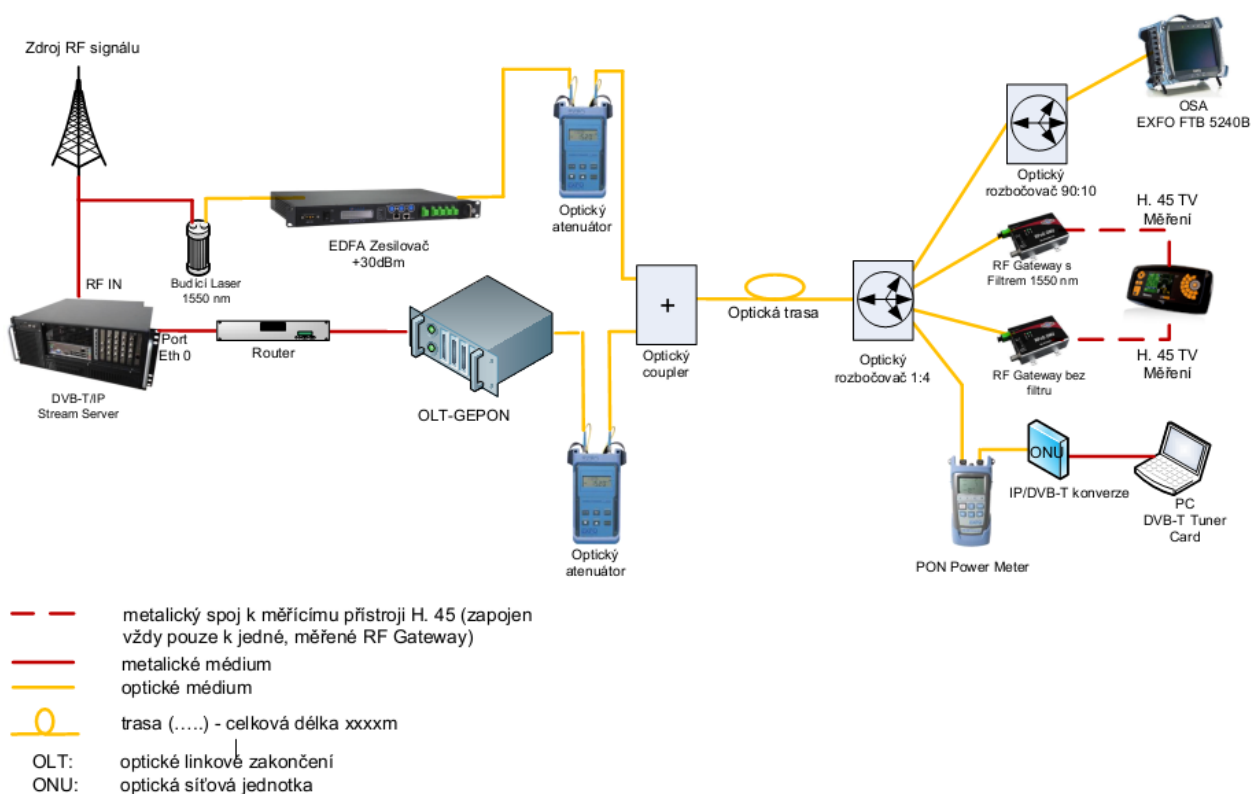
Nastavená hodnota chybovosti BER na síťovém emulátoru Simena [bit/s]	Kvalita vysílání na TV přijímači
<b>1,00E-12 až 1,00E-10</b>	vynikající kvalita
<b>1,00E-09</b>	kvalita velmi dobrá, rozmazávání obrazu při rychlém pohybu
<b>1,00E-08</b>	kvalita velmi dobrá, nastává stále rozmazávání
<b>1,00E-07</b>	pruhy v obraze, zvuk bez zkreslení
<b>1,00E-06</b>	pruhy v obraze, občasné výpadky zvuku
<b>1,00E-05</b>	nastává kostekování v obraze, častější výpadky zvuku
<b>1,00E-04</b>	obraz nečitelný, rozkostečkováný, zvuk se skoro nevyskytuje
<b>1,00E-03</b>	obraz statický, občasný náznak pohybu, bez zvuku

### 5.2.2 Měření parametrů RFoG koncových jednotek na fyzické vrstvě

Toto měření bylo realizováno pro určení optimalizace GEPON sítě s použitím dvou variant RFoG koncových jednotek, dále jen RF gateway. Jedná se o RF gateway s použitím pasivního filtru pro vydělení vlnové délky 1550 nm, která je určena pro přenos RF signálu, a jednodušší varianty této koncové jednotky bez pasivního filtru. ONU jednotka bez pasivního filtru přenáší celé spektrum vlnových délek, tedy 1490, 1310 a 1550 nm.

#### 5.2.2.1 Schéma zapojení pro realizaci měření

Pro experimentální měření RF gateway jednotce bylo realizováno zcela specifické schéma zapojení (viz. Obrázek 5.7). Zdrojový DVB-T televizní signál je, v první větvi, budícím laserem namodulován na vlnovou délku 1550 nm pro sestupný směr RFoG vysílání, následně je průchodem přes EDFA zesilovač, zesílen a přiveden do splitteru 1:2. Před vstupem do splitteru je optický attenuátor, zajišťující nastavitelnost výkonové úrovně, přijímané na měřené RF gateway jednotce. Pro ověření správnosti nastavení je v měřicí schématu implementován také optický spektrální analyzátor a PON power metr. Druhá větev ve schématu realizuje distribuci DVB-T streamu prostřednictvím GEPON sítě, která je, přes optický attenuátor (pro řízení výkonové úrovně signálu), připojena do splitteru a vměšuje do něj komunikaci na vlnových délkách 1310 a 1490 nm.



Obrázek 5.7: Schéma zapojení pro měření experimentální úlohy číslo 2

### 5.2.2.2 Zpracování a analýza měřených parametrů RFoG koncových jednotek

Měření obou typů RF gateway jednotek probíhá v operačním rozsahu vstupních výkonových úrovní, za využití měřicího přístroje Televes H45. Dle výsledků z kontrolního měření rozsahu na koncových jednotkách, bylo zvoleno rozmezí 0 až -12 dBm. Určujícím parametrem tohoto měření je nejmenší přípustný rozdíl mezi úrovní vstupního signálu a šumu, přicházejících společně do RF gateway (C/N).

Při zpracování údajů je využito možnosti USB propojení přístroje Televes H45 s počítačem, pro stažení naměřených údajů. Hodnoty jsou editovány tabulkovým procesorem a následně vyjádřeny grafickou závislostí v prostředí Matlab. Naměřené hodnoty jsou vyobrazeny v Tabulka 5.5.

Pro měření byly použity tyto RF gateway jednotky:

- RF Gateway s pasivním filtrem 1550 nm, C/N @ -8dBm vstupním výkonu: 48dB
- RF Gateway bez filtru, C/N @ -6dBm vstupním výkonu: 48dB

Parametry signálu přiváděného na RF gateway:

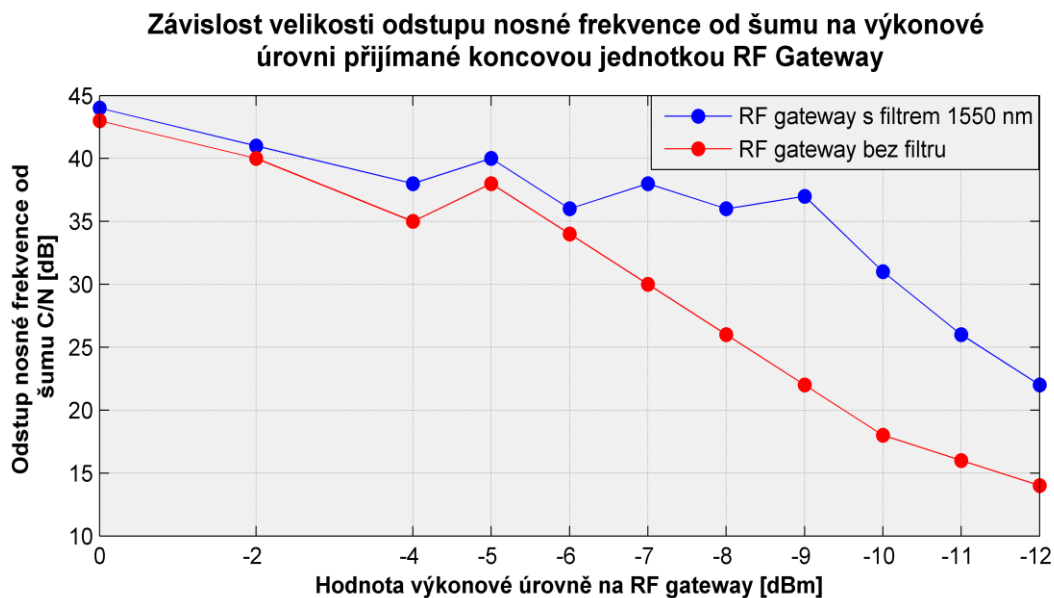
- Napět'ová úroveň: 50 dBuV
- Užíte modulační schéma: 64 QAM

Tabulka 5.5: porovnání C/N obou RF gateway jednotek

Měření odstupů nosné frekvence od šumu C/N na RF gateway jednotce		
Hodnota výkonové úrovně na RF gateway [dBm]	C/N RF gateway bez filtru [dB]	C/N RF gateway s filtrem [dB]
0	43	44
-2	40	41
-4	35	38
-5	38	40
-6	34	36
-7	30	38
-8	26	36
-9	22	37
-10	18	31
-11	16	26
-12	14	22

Je stanoveno, že pro nezhodnocený příjem televizního vysílání by měl doporučený odstup C/N činit více než 20 dB. Hodnotami pod 20 dB, čelíme již velké možnosti degradace obrazu, vlivem špatného zpracování přijatého signálu. Jak demonstruje Tabulka 5.5, můžeme zde vidět, že RF gateway jednotka s pasivním filtrem, zajišťujícím vydělení vlnové délky 1550 nm, vykazuje lepší hodnoty odstupů nosné frekvence od šumu, díky faktu, že komunikace probíhá v úzkém spektru vlnových délek. Naproti tomu, u širokospektrální RF gateway jednotky dochází, vlivem začlenění

dalších vlnových délek, jako jsou komunikující vlnové délky GEAPON sítě 1310 a 1430 nm, k vyšším šumovým hodnotám a tedy výkonové úrovni přijatého signálu musí být vyšší než v případě použití RF gateway s pasivním filtrem.



Obrázek 5.8: Analýza závislosti velikosti odstupu nosné frekvence od šumu vzhledem k přijímané výkonové úrovni

Z grafické závislosti, kterou ukazuje Obrázek 5.8 je, u RF gateway jednotky bez filtru, viditelný pokles odstupu C/N pod 20 dB u přijímané, výkonové úrovně, nižší než -10 dBm. Při těchto hodnotách odstupu C/N, již dochází na obrazovce TV přijímače ke znehodnocení přijímaného signálu. Do hodnoty výkonové úrovně, která činí -6dBm je chování obou RF gateway jednotek z hlediska odstupu C/N velice podobné. Tato hodnota může být považována za hraniční.

---

## 6 Závěr

Hlavním úkolem této práce byla analýza zhodnocení významu nasazení technologie, radio frequency over fibre (RFoG), do pasivních optických sítí nové generace. Zmíněná problematika pro mě obnášela studium znalostí v oblasti pasivních optických sítí, technologií, užitých v optických sítích, pro přenos TV, a samozřejmě nasazení technologie RFoG, z hlediska konvergence stávajících kabelových a hybridních kabelově-optických sítí, pro příjem televizního vysílání. Proto je v teoretické části práce poskytnut náhled na samotnou technologii optických přístupových sítí, a následně jsou zde rozebrány metody pro distribuci TV signálu v takto vybudovaných sítích. Jedná se o problematiku hlubšího charakteru, již mnohokrát řešenou, avšak v této oblasti probíhá neustálý intenzivní vývoj, a je tedy nutno individuálně rozšiřovat základnu, teoretických znalostí.

První část, praktického celku, této závěrečné práce, byla věnována zprovoznění DVB/IP stream serveru, který využívá pro svou funkci pozemního DVB-T vysílání. Celá sestava je založena na platformě Linux. V této fázi bylo provedeno zmapování funkce, jednotlivých komponent stream serveru a následné přizpůsobení konfigurace pro potřeby spojené s realizací RFoG vysílání do pasivní optické sítě. Zařízení je plně automatizované, a již po konfiguraci a připojení do sítě, je realizováno samotné vysílání, které je možno zachytávat na koncových stanicích.

Se samotnou RFoG vysílací sekvencí souvisí také nutnost výstavby testovací, pasivní optické sítě, její následná konfigurace, ověření funkčnosti a integrity této sítě. Pro tyto účely byla zvolena varianta pasivní optické sítě GEAPON. Po návrhu a realizaci výstavby sítě, byla v laboratorních podmínkách provedena série kontrolních měření pro určení správnosti návrhu, funkčnosti a integrity sítě při provozních podmínkách. Jednalo se o proměření útlumových bilancí, délkové a útlumové zhodnocení reflektometrickou metodou OTDR, vyobrazení spektra vlnových délek optickým spektrálním analyzátozem, zhodnocení výkonových úrovní a následně testování zatížitelnosti a propustnosti sítě metodami RFC 2544 a EtherSAM.

Pro posouzení jednotlivých aspektů k nasazení technologie RFoG, do optických přístupových sítí nové generace, bylo provedeno experimentální měření kvalitativních parametrů vysílaného RFoG streamu a proměření dvou typů RFoG koncových jednotek dle kvality odstupu signálu od šumu. Měřením parametrů DVB-T streamu na koncové RFoG jednotce byl umožněn rozbor všech klíčových vlivů na kvalitu tohoto vysílání, těmito parametry jsou bitová chybovost BER, ztrátovost paketů, šířka pásma a variabilní zpoždění (jitter). Naproti tomu, měřením na fyzické vrstvě byla velice pěkně demonstrována degradace kvality přijímaného RF signálu vlivem širokospektrálního detektoru koncové jednotky RFoG. Při užití filtru, pro vydělení vlnové délky 1550 nm, určené pro přenos RF signálu, je účastník schopen, na svém přijímači, získat mnohem lepší přijímací charakteristiky, v závislosti na nízké, vstupní, výkonové úrovni RFoG koncové jednotky.

---

Po zhodnocení výsledků všech experimentálních měření, je možno konstatovat, že technologie RFoG, se může stát velice obstojným nástupcem hybridních vláknově-kabelových sítí na straně poskytovatelů. Jedná se o relativně levné řešení pro přechod ze starých kabelových sítí na moderní opto-vláknovou architekturu. V tomto případě není potřeba kompletní reorganizace celé sítě poskytovatele televizních služeb, pouze obměna klíčových uzlů. Navíc, příznivým faktorem pro koncového účastníka, je užití RFoG koncových jednotek, vybavených pasivním filtrem pro vydělení RF vlnové délky 1550 nm, což umožňuje, šumem neovlivněný, příjem na nižších výkonových úrovních, a tedy i vyšší dosah sítě.



---

## Použitá literatura

- [1] FILKA, Miloslav. Optoelektronika pro telekomunikace a informatiku. Brno: Centa, spol. s.r.o., 2009. 369 s. ISBN 978-80-86785-14-1.
- [2] KOUDELKA, Petr a Jan LÁTAL. Optické přístupové sítě OAN na bázi technologie EPON a jejich integrita. Ostrava, 2012. Dostupné z: [http://optice.vsb.cz/\\_data/FRVS/3.%20Opticke%20pristupove%20site%20OAN%20na%20bazi%20EPON%20a%20jejich%20integrita.pdf](http://optice.vsb.cz/_data/FRVS/3.%20Opticke%20pristupove%20site%20OAN%20na%20bazi%20EPON%20a%20jejich%20integrita.pdf). Studijní materiál do předmětu Telekomunikační Sítě. VŠB-TUO.
- [3] Access server [online]. 2009 [cit. 2011-05-06]. Pasivní optická přístupová síť EPON. Dostupné z WWW: <<http://access.feld.cvut.cz/view.php?navezclanku=pasivni-opticka-pristupova-sit-epon&cislocclanku=2009050003>>.
- [4] SMOLKA, Marek. Analýza přechodu koaxiální sítě na RFoG. Ostrava, 2011. Dostupné z: <http://dspace.vsb.cz/handle/10084/87140?show=full>. Diplomová Práce. VŠB-TUO.
- [5] CHOCHLIOUROS, Ioannis P. a HELIOTIS. Optical Access Networks and Advanced Photonics: Technologies and Deployment Strategies. USA: IGI Global, 2010. ISBN 978-1-60566-707-2.
- [6] ŠVELLA, Martin. Komunikační protokoly v pasivních optických sítích. Brno, 2011. Diplomová práce. Vysoké učení technické v Brně.
- [7] ŽÁK, Ondřej. Návrh přístupové optické sítě. Brno, 2011. Diplomová práce. Vysoké učení technické v Brně.
- [8] MINOLI, Daniel. IP Multicast with application to IPTV and mobile DVB-H. Kanada: Wiley, 2008. ISBN 978-0-470-25815-6.
- [9] Jak funguje IPTV ?. Lupa CZ [online]. 2006 [cit. 2014-04-10]. Dostupné z: <http://www.lupa.cz/clanky/jak-funguje-iptv/>
- [10] SVOZILOVÁ, Blanka. Infrastruktura pro IPTV (přenos TV programů v počítačových sítích). Zlín, 2009. Diplomová Práce. Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně.
- [11] PETERKA, Jiří. Jaké bude IPTV od Telefóniky? [online]. 2006 [cit. 2014-04-02]. Dostupný z WWW: <<http://www.lupa.cz/clanky/jake-bude-iptv-od-to2-cr/>>.

- 
- [12] KREJČÍ, J., ZEMAN, T.. Úvod do IPTV [online]. 2008 [cit. 2014-04-03]. Dostupné z: <http://access.feld.cvut.cz/view.php?navezclanku=uvod-do-iptv&cislocclanku=2008100002>
- [13] Elektronický programový průvodce [online]. 2005-2014 [cit. 2014-03-17]. Dostupné z: <http://tutorials.digizone.cz/digitalni-obsah/elektronicky-programovy-pruvodce/>. ISSN N 1801-493.
- [14] Superteletext [online]. 2005-2014 [cit. 2014-04-10]. Dostupné z: <http://tutorials.digizone.cz/digitalni-obsah/superteletext/>. ISSN 1801-493.
- [15] BURDA, Jan. Interaktivní digitální televize [online]. 2005 [cit. 2014-04-10]. Dostupné z: <http://www.digitalnitelevize.cz/magazin/dvb-t/mhp-a-multimedialni-aplikace/interaktivni-digitalni-televize.html>.
- [16] MHP, aneb: Multimedia Home Platform [online]. 2005-2014 [cit. 2014-04-10]. Dostupné z : <http://tutorials.digizone.cz/digitalni-obsah/mhp/>. ISSN 1801-493.
- [17] PETERKA, Jiří. IP - Internet Protocol [online]. 1999 [cit. 2014-04-10]. Dostupné z: <http://www.earchiv.cz/anovinky/ai1843.php3>.
- [18] DOSTÁLEK, Libor, KABELOVÁ, Alena. Velký průvodce protokolu TCP/IP a systémem DNS. [s.l.] : [s.n.], 2000. 423 s. ISBN 80-7226-323-4.
- [19] RFC 2326. Real Time Streaming Protocol. Kolumbie: Network working group, 1998. Dostupné z: <http://www.ietf.org/rfc/rfc2326.txt>.
- [20] TCP/IP - skupinové vysílání IP Multicast a Cisco [online]. Samuraj, 2005-2014 [cit. 2014-04-10]. Dostupné z: <http://www.samuraj-cz.com/clanek/tcpip-skupinove-vysilani-ip-multicast-a-cisco/>.
- [21] Protokol IGMP (Internet Group Management Protocol) [online]. 2009 [cit. 2014-04-10]. Dostupné z: <http://technet.microsoft.com/cscz/library/cc787925.aspx>
- [22] FILIP, Ondřej. Úvod do IP multicastu (díl čtvrtý) [online]. 2006 [cit. 2014-04-10]. Dostupné z: <http://www.lupa.cz/clanky/uvod-do-ip-multicastu-dil-ctvrty/>.
- [23] RF PON (RFoG) FTTB/FTTH Solution. Lootom [online]. 2008-2013 [cit. 2014-04-10]. Dostupné z: [http://www.lootom.com/en/products/RF-PON-\(RFoG\)-FTTB/FTTH-Solution.html](http://www.lootom.com/en/products/RF-PON-(RFoG)-FTTB/FTTH-Solution.html)
- [24] Why RFoG?. ANDERSON, Tom. Lootom [online]. 2011 [cit. 2014-04-10]. Dostupné z: <http://www.lootom.com/view-1100093.html>
-

- 
- [25] SEIDENBERG, Juergen. RF Video Overlay - Open Access Solutions for Video Services on PON's. In: RF Video Overlay[online]. 2010 [cit. 2014-04-10]. Dostupné z: <http://www.bktel.com/bktel/print/scte%20interview.pdf>
- [26] IP TV stream server ITS-DVB2IP-S2T2M2 - Uživatelský návod. Praha, 2013, 6 s.
- [27] EXFO. AXS-200/625: 30 Mhz copper and ADSL2+ Triple - Play Test Set. Kanada, 2008-2009. Dostupné z: [ftp://ftp.c-tt.ru/EXFO/AXS-200/Manuals/User%20Guide%20AXS-625%20\(200\)%20English%20\(1056398\).pdf](ftp://ftp.c-tt.ru/EXFO/AXS-200/Manuals/User%20Guide%20AXS-625%20(200)%20English%20(1056398).pdf)
- [28] Měřicí přístroj Televes H45. KOVÁŘ, Radomír. Parabola.cz [online]. 2012 [cit. 2014-04-25]. Dostupné z: <http://www.parabola.cz/clanky/4621/merici-pristroj-televes-h45/>






























---

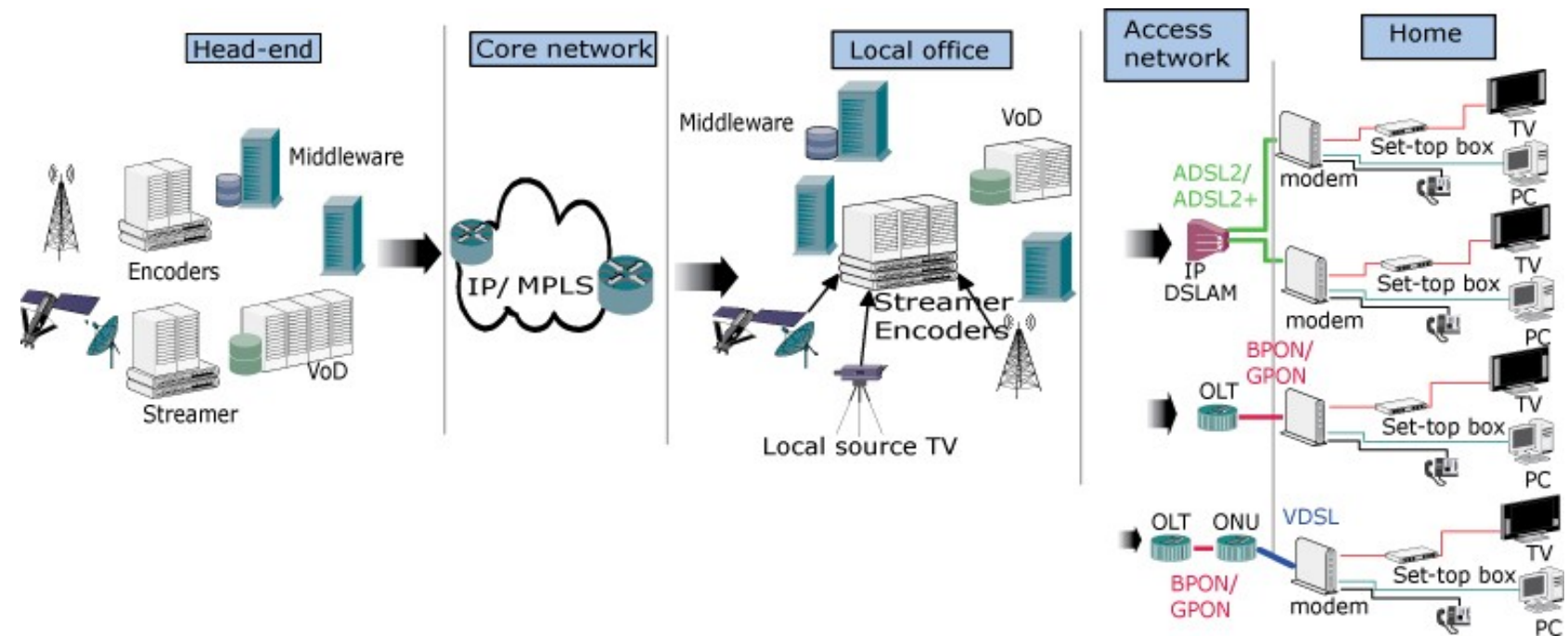
## Seznam příloh

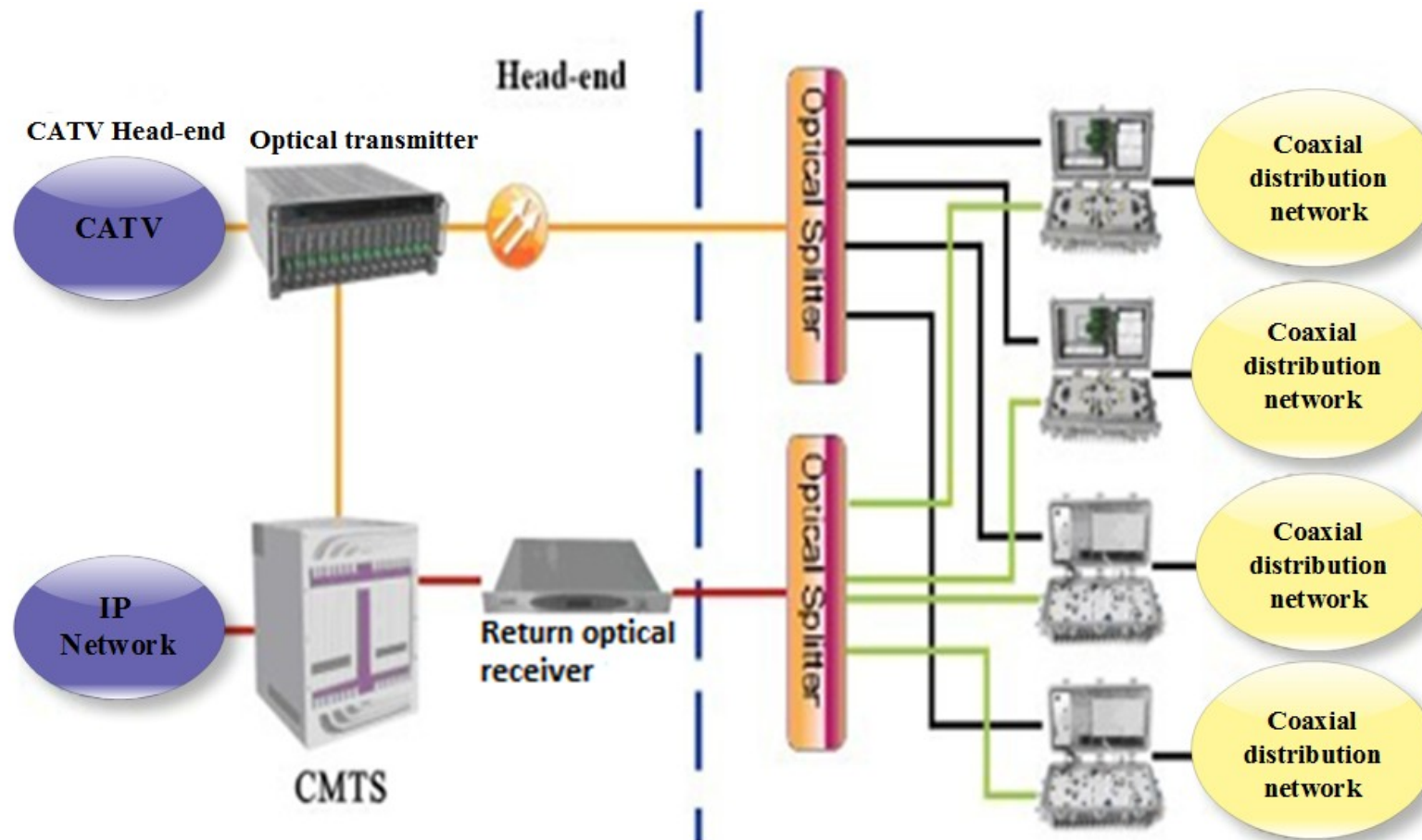
Příloha A: Architektura IPTV .....	lxxiii
Příloha B: Architektura sítě RFoG bez uzlu .....	lxxiv
Příloha C: Architektura sítě RFoG s doplňkovým uzlem .....	lxxv
Příloha D: Nasazení RF video overlay v GPON .....	lxxvi
Příloha E: Device manager v systému Debian .....	lxxvii
Příloha F: Schéma rozmístění jednotlivých prvků v racku N311 .....	lxxviii

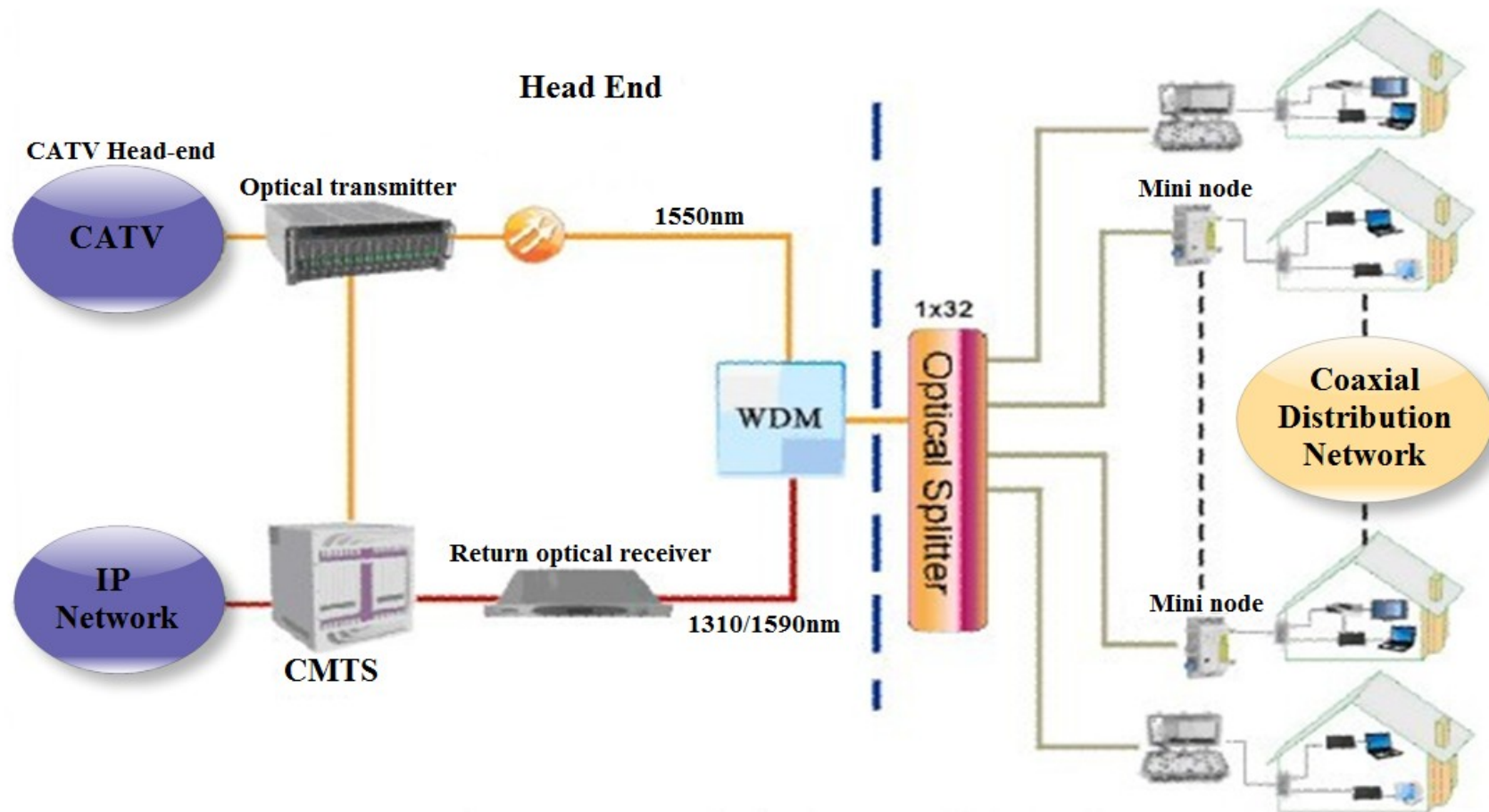
Součástí DP je DVD.

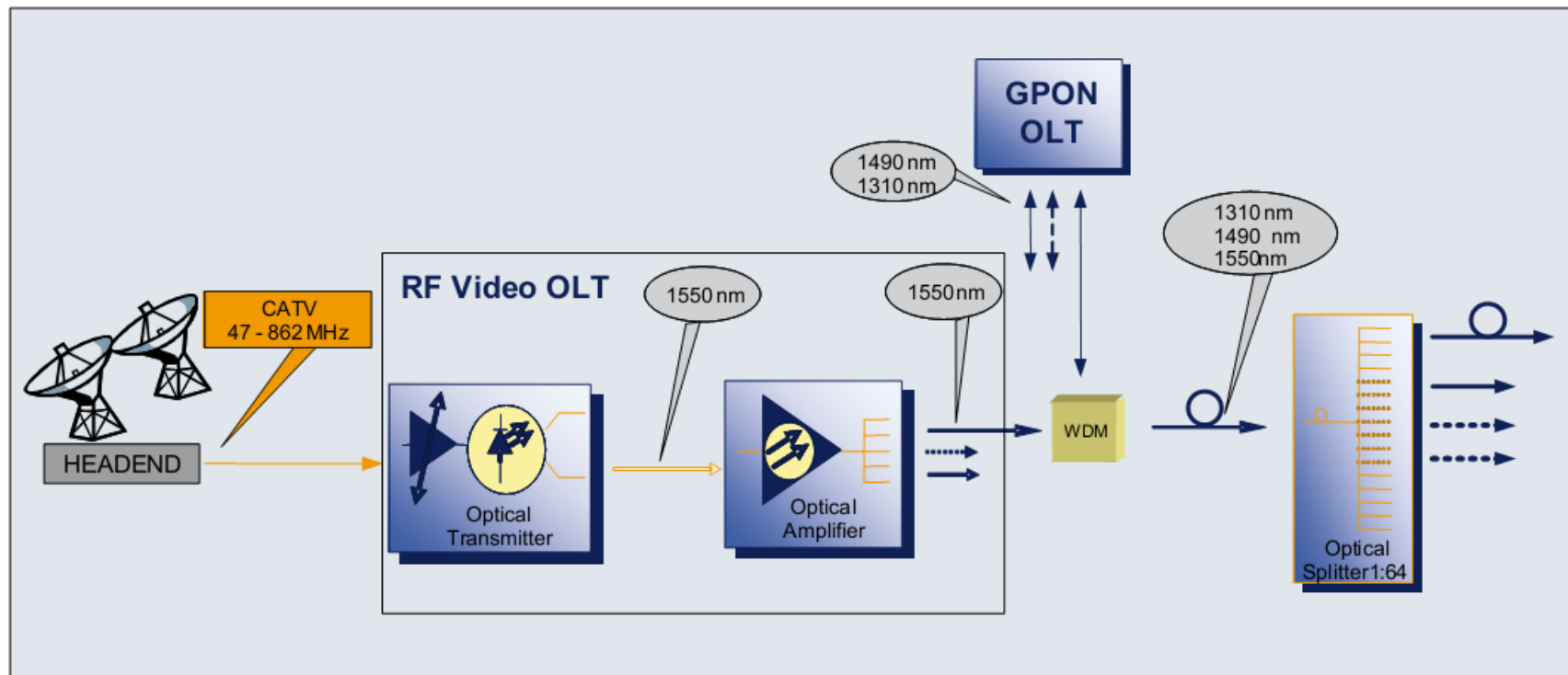
Adresářová struktura přiloženého DVD:

- ▲  CD
  -  DVB-T Stream server
  - ▲  Měření funkčnosti a integrity GEAPON
    -  EtherSAM
    -  Měření útlumu a výkonu
    -  Optický spektrální analyzátor
    -  OTDR
  - ▲  RFC2544
    -  RFC2544\_images
  -  Měření parametrů RF gateway fyzická vrstva
  - ▲  Měření parametrů streamu AXS-200\_625
    - ▲  Surová data
      - ▲  AXS600
        - ▲  Graphs
          -  DnStreamRate
          -  ERR Indicator
          -  IP Arrival Jitter
          -  PCR Jitter
        - ▲  HTML Report
          -  band\_Images
          -  ber\_Images
          -  jitter\_Images
          -  latency\_Images
          -  packetloss\_Images
  - ▲  Zpracování dat a grafy
    -  Grafy\_rendered
  -  Nastavení GEAPON OLT
  -  Schémata pro měření
  -  Ukázky kvality obrazu



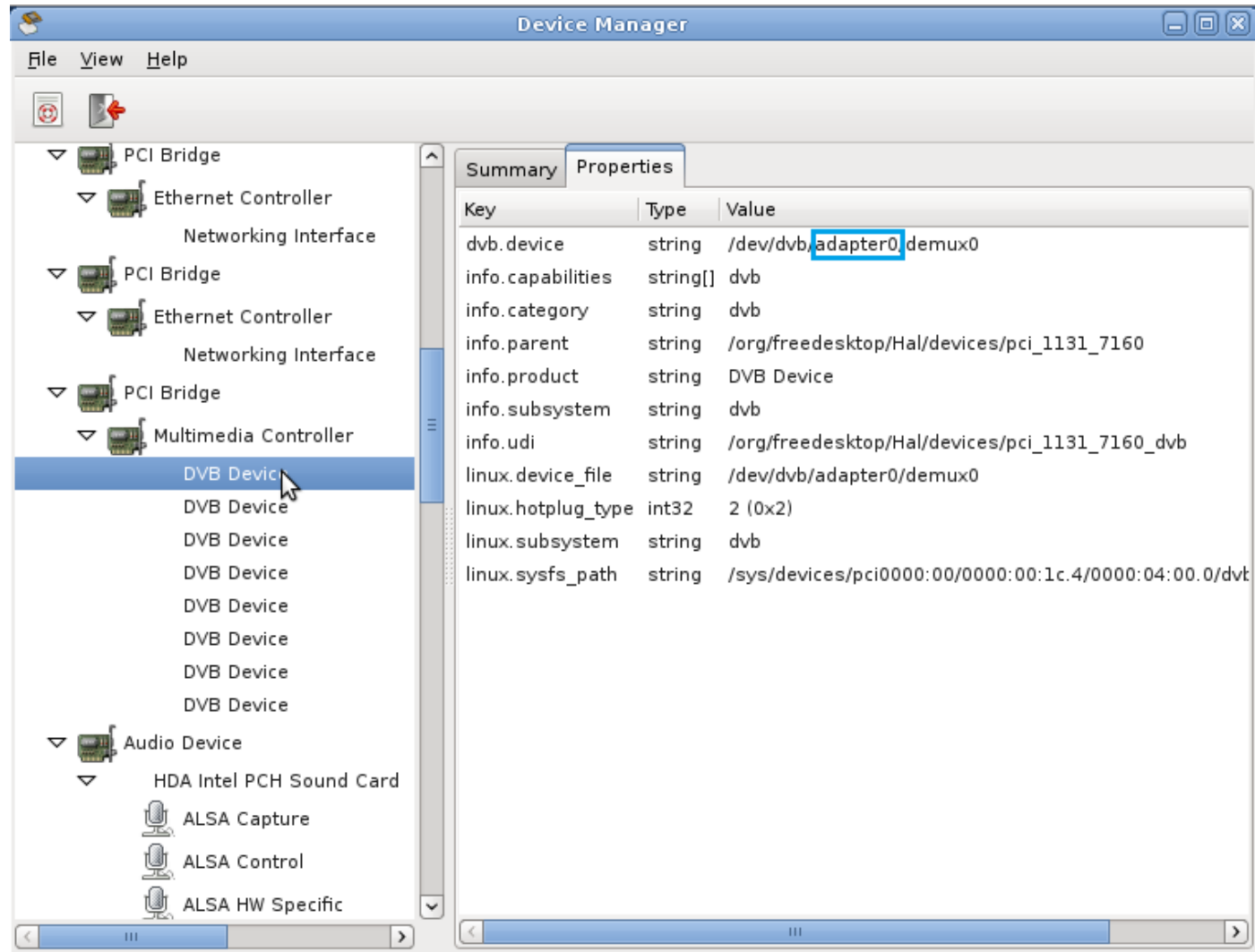








*Príloha E: Device manager v systéme Debian*



Příloha F: Schéma rozmístění jednotlivých prvků v racku N311

